



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA**  
**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

**CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA E GEOQUÍMICA DO MAGMATISMO NO**  
**PONTAL DO ATALAIA, MUNICÍPIO DE ARRAIAL DO CABO – RJ**

**GISELE RHIS FIGUEIREDO**

**Trabalho Final de Curso**  
**Geologia**

**UFRJ**  
**RIO DE JANEIRO**  
**FEVEREIRO/2019**

**CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA E GEOQUÍMICA DO MAGMATISMO NO  
PONTAL DO ATALAIA, MUNICÍPIO DE ARRAIAL DO CABO – RJ**

**Gisele Rhis Figueiredo**

TRABALHO FINAL DE CURSO APRESENTADO AO DEPARTAMENTO DE  
GEOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, COMO PARTE DOS  
REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE GEÓLOGO.

ORIENTADORA: \_\_\_\_\_

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Eliane Guedes (Museu Nacional)

APROVADO POR: \_\_\_\_\_

Prof<sup>a</sup> Dr. Ciro Alexandre Ávila (Museu Nacional)

\_\_\_\_\_  
MsC. Sarah Siqueira da Cruz Guimarães Sousa (Museu Nacional)

**UFRJ  
RIO DE JANEIRO  
FEVEREIRO/2019**

## CIP - Catalogação na Publicação

R437c Rhis, Gisele  
CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA E GEOQUÍMICA DO  
MAGMATISMO NO PONTAL DO ATALAIA, MUNICÍPIO DE  
ARRAIAL DO CABO - RJ / Gisele Rhis. -- Rio de  
Janeiro, 2019.  
86 f.

Orientadora: Eliane Guedes.  
Trabalho de conclusão de curso (graduação) -  
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto  
de Geociências, Bacharel em Geologia, 2019.

1. Diques. 2. Enxame de Diques Santos - Rio de  
Janeiro. 3. Alcalino. 4. Petrografia. I. Guedes,  
Eliane, orient. II. Título.

Elaborado pelo Sistema de Geração Automática da UFRJ com os dados fornecidos  
pelo(a) autor(a), sob a responsabilidade de Miguel Romeu Amorim Neto - CRB-7/6283.

## **Agradecimentos**

Agradeço à dupla Prof<sup>a</sup> Eliane Guedes e Felipe Martins, que me receberam de braços abertos no Setor de Petrografia do Departamento de Geologia e Paleontologia há 4 anos atrás. Obrigada pela orientação, apoio, dedicação e por todos os momentos juntos. Mais do que orientadora e colega de pesquisa, viraram amigos que vou levar pra vida toda, a vocês eu sou grata.

Ao Prof. Ciro Ávila, pela confiança depositada em mim desde o início, pelas críticas, conselhos, carinho e até implicâncias. Obrigada por sempre me incentivar a seguir e buscar mais.

À José Emiraldo Barbosa pela confecção das lâminas petrográficas utilizadas neste trabalho, pelas aulas de laminação e pela amizade.

Ao Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM) pelo suporte nos trabalhos de campo em Arraial do Cabo.

Aos meus pais, irmão e familiares que me incentivaram e apoiaram nessa jornada.

Aos amigos Camilla Tavares, Calvin Ferreira, Felipe de Castro, Gabriel Eloy, Gabriela Araújo e Giovanni Picco pelos 5 anos de graduação, pelos campos, paisagens e perrengues. Obrigada por estarem presentes nos bons e maus momentos.

Por fim, ao Museu Nacional, que me proporcionou experiências, amizades e laços que nem um incêndio é capaz de desfazer.

## Resumo

No Pontal do Atalaia, leste do estado do Rio de Janeiro, ocorrem corpos tabulares ígneos encaixados no embasamento ortognáissico e anfibolítico do Domínio Tectônico de Cabo Frio. Esse magmatismo apresenta caráter toleítico, relacionado com a abertura do Atlântico Sul no Cretáceo Inferior, e alcalino, cuja gênese ainda é questão de debate na literatura. A cartografia geológica no Pontal do Atalaia permitiu a classificação dos litotipos ígneos e do estabelecimento de uma cronologia relativa, sendo os corpos de diabásio os mais antigos, seguidos pelos corpos de lamprófiro, traquito e fonolito. O diabásio apresenta diques que chegam até 30 metros de espessura com direção NE-SW. Na petrografia apresentam mineralogia composta por clinopiroxênio, plagioclásio e, raramente, cristais de olivina completamente alterados para iddingsita. A análise litogeoquímica utilizou dados de diabásio de toda Região dos Lagos, sendo identificados três grupos geoquímicos de baixo-TiO<sub>2</sub> baseados nos teores de SiO<sub>2</sub>, MgO, TiO<sub>2</sub> e Zr. O lamprófiro possui ocorrência restrita, com corpos de até 60 cm de espessura, direção NE-SW e NW-SE. Três variedades baseadas na assembleia de fenocristais foram descritas na petrografia e confirmadas pela análise geoquímica. A *variedade 1* é a mais evoluída, com fenocristais de olivina, clinopiroxênio zonado, kaersutita e biotita. Classificada como a mais primitiva, a *variedade 2* apresenta fenocristais exclusivamente de olivina, enquanto a *variedade 3*, considerada intermediária, possui fenocristais de biotita e raros fenocristais de clinopiroxênio zonado. Estas amostras foram classificadas pela química em fonotefrito, tefrito e basanita, respectivamente. O traquito, por sua vez, é a litologia com maior número de corpos na área, com direção NW-SE e, subordinadamente, NE-SW e WNW-ESE. Apresenta corpos afaníticos e outros porfiríticos identificados em campo, de forma que as diferentes direções e texturas podem caracterizar mais de um pulso magmático. São compostos de álcali-feldspato e plagioclásio, com texturas porfiríticas, glomeroporfiríticas, equigranulares e traquíticas na petrografia. Por fim, o fonolito apresenta direção ENE-WSW com ocorrências concentradas próximas ao Canal do Boqueirão. As texturas em lâmina petrográfica são porfiríticas com fenocristais de nefelina, álcali-feldspato, aegirina-augita, augita, biotita e olivina.

## Índice de Figuras

- Figura 1. Mapa de localização do município de Arraial do Cabo no estado do Rio de Janeiro e imagem de satélite da área de estudo. Fonte: Google Maps..... 02
- Figura 2. Trajeto até o município de Arraial do Cabo a partir da cidade do Rio de Janeiro. Fonte: Google Maps..... 02
- Figura 3. Compartimentação da Província Mantiqueira: segmento setentrional composto pela Faixa Araçuaí; segmento central formado pelas faixas Ribeira, Apiaí e a porção sul da Faixa Brasília; segmento meridional inclui as faixas Dom Feliciano e São Gabriel (Heilbron *et al.*, 2004)..... 05
- Figura 4. Mapa simplificado da porção sudeste da Faixa Ribeira (Heilbron *et al.*, 2004).  
Legenda 1- Sedimentos quaternários; 2- Sedimentos terciários; 3- Rochas alcalinas cretáceas/terciárias; 4-8 Granitoide Brasilianos sin a pós-colisionais; 9-10- Granitoides com idade indeterminada; 11-Arco magmático Rio Negro; 12-17- Terreno Ocidental: 12-14- Megassequência Andrelândia, 15- Complexo Mantiqueira, 16- Fácies distais da Megassequência Andrelândia no Domínio Juiz de Fora, 17- Complexo Juiz de Fora; 18- Complexo Embu indiviso; 19-20- Terreno Paraíba do Sul, 19- Grupo Paraíba do Sul, 20- Complexo Quirino; 21-22-Terreno Oriental, 21-Sucessão metassedimentar Italva, 22-Sucessão metassedimentar Costeiro; 23-24- Domínio Tectônico Cabo Frio, 23- Sucessão Búzios e Palmital, 24- Complexo Região dos Lagos. .... 06
- Figura 5. Registro do magmatismo no sul-sudeste do Brasil e no oeste africano. Composto pela Província Paraná-Etendeka, e os enxames de diques de Ponta Grossa, Florianópolis, Santos – Rio de Janeiro, Namíbia e Etendeka (Adaptado de Marques & Ernesto, 2004). .... 08
- Figura 6. Mapa dos principais corpos constituintes do Alinhamento Alcalino Poços de Calda – Cabo Frio. (Adaptado de Almeida, 1986). .... 09
- Figura 7. Mapa geológico do Pontal do Atalaia e adjacências de Araújo (1995) mostrando o posicionamento dos diques de basalto, traquito e fonolito, além de dois corpos de nefelina sienito..... 10

Figura 8. Mapa das intrusões estudadas por Bennio <i>et al.</i> (2003) na região do Pontal do Atalaia e cidade de Arraial do Cabo – RJ (retângulo vermelho). EDPG – Enxame de Diques de Ponta Grossa; EDF – Enxame de Diques de Florianópolis. ....	11
Figura 9. Mapa geológico do Enxame de Diques Santos – Rio de Janeiro na Região dos Lagos, litoral do estado do Rio de Janeiro (Dutra, 2006).....	12
Figura 10. Costão rochoso formado pelas unidades do embasamento, ortognaisse da Unidade Região dos Lagos (Og) e anfibolito da Unidade Forte de São Mateus (Af), na vertente oeste do Pontal do Atalaia. ....	13
Figura 11. Variação textural abrupta no ortognaisse da Unidade Região dos Lagos a) estrutura nucleada e b) detalhe. Ponto AC-EG-17 localizado ao sul da Praia Grande.....	14
Figura 12. Ortognaisse do embasamento com variação textural gradual. Em poucos centímetros há variação do ortognaisse foliado (na esquerda da foto) que passa para porfiroblastos de quartzo e feldspato (no centro) até uma porção brechada (na direita inferior). Ponto AC-EG-05-B localizado na Praia Grande. ....	14
Figura 13. Ortognaisse do embasamento com a) textura porfirítica preservada com fenocristais de feldspato tabulares e b) xenólito de litologia não diferenciada com fenocristais euédricos de feldspato e foliação concordante com a foliação do ortognaisse encaixante. Pontos AC-DQ-12 na porção nordeste da área e AC-EG-62 na Ponta da Cabeça, respectivamente.....	15
Figura 14. Afloramentos no ponto AC-EG-12 de a) lente anfibolítica com injeções félsicas falhadas e dobra de arraste e b) ortognaisse e dique de metabasito metaforfisado e transformado em anfibolito.....	15
Figura 15. Dique de diabásio com aproximadamente 30 metros de espessura intrudido por dique de traquito, ponto AC-EG-21 próximo à Ponta da Cabeça. ....	16
Figura 16. Dique vertical de diabásio (Db) intrudindo ortognaisse (Og) e anfibolito (Af) do embasamento. Este dique é ainda intrudido por uma soleira de traquito (Tq). Ponto AC-EG-12, vertente oeste próximo ao Canal do Boqueirão.....	17

Figura 17. Intrusões sub-horizontais ( $Db_n$ ) de diabásio que irradiam de um dique principal (Db). As intrusões menores foram posteriormente cortadas pelo dique de fonolito (Fn), ponto AC-EG-11 e AC-EG-13, na vertente oeste próximo ao Canal do Boqueirão.....	17
Figura 18. Intrusão de diabásio com textura porfirítica marcada por fenocristais tabulares de plagioclásio de até 2 mm de tamanho. Intrusão localizada a sul da Ponta da Cabeça no ponto AC-EG-21.....	18
Figura 19. Margem resfriada com granulação mais fina em dique de diabásio porfirítico do ponto AC-EG-21 a sul da Ponta da Cabeça.....	18
Figura 20. Dique de lamprófiro com 60 cm de espessura, encaixado no ortognaisse do embasamento, ponto AC-EG-01 localizado na Praia Grande. ....	19
Figura 21. Fenocristais de biotita em matriz afanítica de um dique de lamprófiro na Praia Grande, ponto AC-EG-05-B.....	19
Figura 22. Dique de lamprófiro na Praia Grande (ponto AC-EG-01) apresentando a) fenocristais de feldspato euédricos e subédricos e b) xenólitos de ortognaisse.....	20
Figura 23. Relação de corte entre duas intrusões distintas de traquito, estas podem ser cogenéticas ou terem sido colocadas por diferentes pulsos magmáticos, sendo Tq1 o mais antigo e Tq2 mais recente. Afloramento do ponto AC-EG-09 localizado na vertente oeste próximo ao Canal do Boqueirão. ....	20
Figura 24. Duas variedades de traquito em contato intrusivo entre si e com o embasamento (Og), uma porfirítica com fenocristais de feldspato de até 5 mm de tamanho (Tq1) e outra afanítica de coloração mais escura (Tq2). Afloramento do ponto AC-EG-09 localizado na vertente oeste próximo ao Canal do Boqueirão.....	21
Figura 25. a) Intrusão de traquito com amígdalas e fraturas preenchidas por epidoto, ponto AC-EG-12-C. b) Ortognaisse do embasamento com fratura preenchida por epidoto próximo ao dique de traquito do ponto AC-EG-12-C. ....	21

Figura 26. Diques de traquito (Tq) com alteração de coloração alaranjada característica sendo intrudidos por dique de fonolito (Fn), ambos encaixados nas rochas ortognáissicas do embasamento. Ponto AC-EG-66 localizado na região sudoeste do Pontal do Atalaia, próximo ao Canal do Boqueirão. ....	22
Figura 27. Detalhe de dique de fonolito com fenocristais euédricos de álcali-feldspato e nefelina, ponto AC-EG-11, próximo ao Canal do Boqueirão. ....	22
Figura 28. Estereogramas de densidade de polos para as rochas do embasamento: a) foliação do embasamento, evidenciando mergulhos essencialmente para leste; b) fraturas do embasamento, com <i>strikes</i> NW-SE e mergulhos suaves. ....	23
Figura 29. Diagramas de roseta das unidades intrusivas, sendo n o número de medidas para cada diagrama. Diabásio – NE-SW; lamprófiro –NE-SW e NW-SE; traquito – principal NW-SE e dois subordinados NE-SW e WNW-ESE; fonolito –ENE-WSW. ....	24
Figura 30. Fotomicrografia de diabásio com textura glomeroporfírica marcada por aglomerados de fenocristais de clinopiroxênio (Cpx) e plagioclásio (Pl) em a) nicóis cruzados e b) nicóis paralelos. Ponto AC-EG-58-A, localizado na Praia Grande. ....	25
Figura 31. Fotomicrografias em nicóis cruzados de amostras de diabásio com textura glomeroporfírica marcadas por fenocristais de plagioclásio (Pl) com diferentes graus de alteração. a) Amostra do ponto AC-EG-12-A com fenocristais de plagioclásio bem preservados e b) Amostra do ponto AC-EG-21 com extensa alteração para sericita (Ser). ....	26
Figura 32. Fotomicrografia de diabásio com textura equigranular, composto por clinopiroxênio (Cpx), plagioclásio (Pl) e olivina (Ol) alterada para iddingsita (Idg), ponto AC-EG-26. ....	27
Figura 33. Fotomicrografia em nicóis cruzados de lamprófiro da <i>variedade 1</i> com textura glomeroporfírica marcada por fenocristais de biotita (Bt), clinopiroxênio (Cpx) e olivina (Ol) com hábito hexagonal e pseudo-hexagonal com alteração hidrotermal para serpentina (Srp) e embaiamento. Amostra do ponto AC-EG-01 localizado na Praia Grande. ....	28
Figura 34. Fotomicrografia em nicóis paralelos de lamprófiro da <i>variedade 1</i> com fenocristal de clinopiroxênio zonado (Cpx), apresentando núcleo arredondado com pleocroísmo verde e	

borda com faces retas e sem pleocroísmo. Cristais de clinopiroxênio não zonado (Cpx), olivina (Ol) e biotita (Bt) também compõe a amostra (ponto AC-EG-01)..... 29

Figura 35. Fotomicrografias de lâminas da segunda variedade de lamprófiros, a) textura glomeroporfirítica marcada por fenocristais hexagonais e pseudo-hexagonais de olivina (Ol) com alteração para serpentina (Srp) e b) cristal de olivina em nicóis cruzados com feições de corrosão. Ponto AC-EG-61 e AC-EG-62, respectivamente. .... 30

Figura 36. Fotomicrografia de seção delgada da *variedade 3* de lamprófiro, apresentando fenocristal de biotita (Bt) e clinopiroxênio zonado (Cpx), em a) nicóis cruzados e b) nicóis paralelos..... 31

Figura 37. Fotomicrografia em nicóis cruzados de traquito com textura glomeroporfirítica marcada por fenocristais de álcali-feldspato (Afs) e matriz de álcali-feldspato e plagioclásio (Pl). Tanto a matriz quanto os fenocristais estão intensamente alterados para sericita. Amostra do ponto AC-EG-31..... 32

Figura 38. Fotomicrografia em nicóis paralelos de traquito apresentando amígdala de aproximadamente 1,5 cm de tamanho preenchida por cristais de epidoto (Ep) e agregados de clorita (Chl) e anfibólio (Amp), ponto AC-EG-12-C. .... 32

Figura 39. Fotomicrografia em nicóis cruzados de fonolito com textura afanítica porfirítica marcada por fenocristais de álcali-feldspato (Afs) e nefelina (Ne). Os fenocristais apresentam alteração para sericita, parcial no álcali-feldspato e completa na nefelina, e feições de corrosão como embaiamento e bordas arredondadas (ponto AC-EG-11)..... 33

Figura 40. Fotomicrografia de fonolito apresentando aglomerado de cristais de aegirina-augita (Aeg), titanita (Ttn) e minerais opacos (ponto AC-EG-42)..... 34

Figura 41. Fotomicrografia da amostra AC-EG-01 com os cristais analisados em espectroscopia Raman e MEV. O anfibólio (Amp) foi classificado como kaersutita, as inclusões como analcima (Anl) e os cristais de coloração marrom escura da vesícula foram caracterizados como granada titanífera (Grt)..... 35

- Figura 42. Espectro Raman de um cristal de anfibólio da amostra AC-EG-01. A curva em preto representa o cristal analisado, enquanto a curva em azul uma análise de pargasita do database RRUFF (Fonte da análise: *Gemological Institute of America*). ..... 36
- Figura 43. Fotomicrografia de cristais de granada preenchendo vesícula e detalhe em MEV, classificada como membro intermediário da solução sólida andradita-schorlomita. .... 36
- Figura 44. Imagem de microscopia eletrônica de varredura (MEV) de um cristal de clinopiroxênio com zoneamento composicional, evidenciando tons de cinza diferentes para o núcleo e borda..... 37
- Figura 45. a) Fotomicrografia de cristal de clinopiroxênio zonado em nicóis paralelos, apresentando núcleo corroído de cor verde e bordas euédricas incolores. b) mapa composicional do mesmo cristal, onde pode-se observar que o núcleo é mais rico em ferro, representado pela cor amarela, enquanto a borda é mais rica em magnésio, representado pela cor azul..... 37
- Figura 46. Diagrama TAS ( $\text{SiO}_2$  versus  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ ) de Le Bas (1986) para os grupos A (●), B (●) e C (●). ..... 39
- Figura 47. Amostras dos grupos A (●), B (●) e C (●): a) Diagrama  $\text{Zr}/\text{TiO}_2$  versus  $\text{SiO}_2$  (% peso) de Winchester & Floyd (1977) e b) diagrama AFM de Irvine e Baragar (1971),  $A = \text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ ,  $F = \text{Fe}_2\text{O}_3^t$ ,  $M = \text{MgO}$  (em % peso)..... 40
- Figura 48. Amostras dos grupos A (●), B (●) e C (●) em diagrama de variação  $\text{SiO}_2$  versus  $\text{TiO}_2$  (% peso), segundo critérios de Bellieni *et al.* (1994)..... 41
- Figura 49. Diagramas de variação para  $\text{MgO}$  (% peso) e elementos maiores (% peso) dos grupos geoquímicos A (●), B (●) e C (●). As curvas lineares (tracejadas) e respectivos valores de  $R^2$  são apresentadas nos diagramas. .... 42
- Figura 50. Diagramas de variação para  $\text{MgO}$  (% peso) e elementos traço (ppm) dos grupos geoquímicos A (●), B (●) e C (●). As curvas lineares (tracejadas) e respectivos valores de  $R^2$  são apresentadas nos diagramas. .... 43

Figura 51. Diagrama TAS ( $\text{SiO}_2$  versus  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ ) de Le Bas (1986) para os lamprófiros das variedades petrográficas 1 (♦), 2 (♦) e 3 (♦)..... 45

## Índice de tabelas

Tabela 1. Relação das lâminas petrográficas descritas no presente trabalho, com o respectivo código e litologia da amostra.....	24
Tabela 2. Relação entre as variedades de lamprófiro descritas (V1, V2 e V3) e a assembleia de fenocristais referente à cada uma. Ol – olivina; Bt – biotita; Cpx – clinopiroxênio; Anf – anfibólio. ....	27
Tabela 3. Análises químicas em MEV da amostra AC-EG-01, lamprófiro da variedade petrográfica 1.....	35
Tabela 4. Listagem das amostras selecionadas para análise geoquímica, com seus respectivos códigos, litologia, longitude, latitude e direção de <i>strike</i> . ....	38
Tabela 5. Simbologia (Sb), valores mínimos (Min), máximos (Max) e média (Md) de SiO <sub>2</sub> , MgO, TiO <sub>2</sub> (% peso) e Zr (ppm) para os grupos geoquímicos (Gr) A, B e C. ....	40
Tabela 6. Valores de R <sup>2</sup> das equações lineares (R <sup>2L</sup> ) e polinomiais (R <sup>2P</sup> ) para os elementos maiores e traço das amostras de diabásio. ....	41
Tabela 7. Classificação no diagrama TAS, valor de perda ao fogo (PF) e minerais normativos mais representativos para as variedades petrográficas de lamprófiro 1 (V1), 2 (V2) e 3 (V3). Minerais normativos: Or – ortoclásio, Ab – albita, An – anortita, Lc – leucita, Ne – nefelina e Ol – olivina. ....	45

## Sumário

<b>Agradecimentos</b> .....	i
<b>Resumo</b> .....	ii
<b>Índice de figuras</b> .....	iii
<b>Índice de tabelas</b> .....	x
<b>Sumário</b> .....	xi
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	01
1.1 Localização da área de estudo .....	01
1.2 Objetivo .....	02
1.3 Materiais e métodos .....	03
1.3.1 - <i>Revisão bibliográfica</i> .....	03
1.3.2 - <i>Trabalho de campo</i> .....	03
1.3.3 - <i>Atividades laboratoriais</i> .....	03
<b>2 GEOLOGIA REGIONAL</b> .....	05
2.1 Introdução .....	05
2.2 Magmatismo no sul-sudeste do Brasil .....	07
2.2.1 <i>Magmatismo toleítico</i> .....	07
2.2.2 <i>Magmatismo alcalino</i> .....	09
2.3 Trabalhos anteriores na área de estudo .....	10
<b>3 GEOLOGIA DE CAMPO</b> .....	13
3.1 Embasamento.....	13
3.2 Magmatismo toleítico .....	16
3.3 Magmatismo alcalino.....	18
3.4 Geologia estrutural.....	23
<b>4 PETROGRAFIA</b> .....	24
4.1 Introdução .....	24
4.2 Suite toleítica .....	25
4.2.1 <i>Diabásio</i> .....	25
4.3 Suite alcalina.....	27
4.3.1 <i>Lamprófiro</i> .....	27
4.3.1.1 <i>Variedade 1</i> .....	27
4.3.1.2 <i>Variedade 2</i> .....	29
4.3.1.3 <i>Variedade 3</i> .....	30
4.3.2 <i>Traquito</i> .....	31
4.3.3 <i>Fonolito</i> .....	33

<b>5 MEV E ESPECTROSCOPIA RAMAN</b> .....	34
5.1 Introdução .....	34
5.2 Lamprófiro .....	34
<b>6 LITOGEOQUÍMICA</b> .....	38
6.1 Introdução .....	38
6.2 Diabásio .....	39
6.3 Lamprófiro .....	44
<b>7 DISCUSSÕES</b> .....	46
<b>8 CONCLUSÕES</b> .....	48
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	49
<b>ANEXOS</b> .....	52
Anexo I – Tabela de Pontos .....	52
Anexo II – Mapa de Pontos .....	55
Anexo III – Mapa de Distribuição das Intrusões .....	56
Anexo IV – Dados Litogeoquímicos .....	57
Anexo V – Dados Litogeoquímicos Compilados .....	60
Anexo VI – Norma CIPW .....	66
Anexo VII – Métodos Analíticos .....	70

# 1 INTRODUÇÃO

O Cretáceo e o início do Paleógeno são marcados por intenso magmatismo, de caráter toleítico e alcalino, por toda plataforma Sul-Americana. No sul-sudeste do Brasil o magmatismo toleítico é representado pelos derrames da Província Paraná-Etendeka, pelos basaltos das bacias de rifte e pelos enxames de diques de Florianópolis, de Ponta Grossa e Santos – Rio de Janeiro (Almeida, 1986). Esse registro é associado à fragmentação do supercontinente Gondwana no Cretáceo Inferior, *ca.* 137-127 Ma (Turner *et al.*, 1994). O magmatismo de caráter alcalino, por sua vez, ocorre principalmente no Alinhamento Poços de Caldas - Cabo Frio ao qual são atribuídas idade de 82 -51 Ma (Amaral *et al.*, 1967), cuja gênese ainda é discutida na literatura (*e.g.* Almeida, 1986; Thomaz Filho & Rodrigues, 1999; Thompson *et al.*, 1998; Thomaz Filho *et al.*, 2005).

O Pontal do Atalaia, área de estudo deste trabalho, é um promontório localizado no município de Arraial do Cabo, no leste do estado do Rio de Janeiro. Na região ocorrem diques e soleiras correlacionados ao Enxame de Diques Santos – Rio de Janeiro e ao Alinhamento Poços de Caldas – Cabo Frio. As intrusões ocorrem encaixadas em rochas do embasamento paleoproterozoico pertencente ao Domínio Tectônico de Cabo Frio, no Orógeno Ribeira. Na área o magmatismo toleítico é representado por corpos de diabásio, enquanto lamprófiros, fonolitos e traquitos compõem as litologias do magmatismo alcalino.

A área já foi alvo de diversos estudos e conta com mapas geológicos publicados anteriormente, os quais apresentam similaridades e discrepâncias entre si. Desta forma, o presente trabalho envolve a caracterização das intrusões de caráter toleítico e alcalino presentes no Pontal do Atalaia, em termos de geologia de campo, petrografia e geoquímica com a elaboração de um mapa de distribuição dos corpos em escala de detalhe.

## 1.1 Localização da área de estudo

A área de estudo abrange a região do Pontal do Atalaia (Figura 1), promontório localizado na porção sul do município de Arraial do Cabo, no leste do estado do Rio de Janeiro. O acesso (Figura 2), a partir da cidade do Rio de Janeiro, possui cerca de 164 km sendo que o trajeto é realizado pela Rodovia Niterói-Manilha (BR-101) por cerca de 80 km até o município de Rio Bonito. Neste ponto percorrem-se 72 km pela Via Lagos (RJ-124) até a Rodovia Amaral Peixoto (BR-106), mantendo a direita e em seguida entrando na Rodovia Márcio Corrêa (RJ-140). Após 13 km nesta rodovia, beirando a Lagoa de Araruama, deve-se tomar a segunda saída da rotatória para a RJ-102 (Rodovia General Bruno Martins) e seguir por aproximadamente 10 km até Arraial do Cabo.

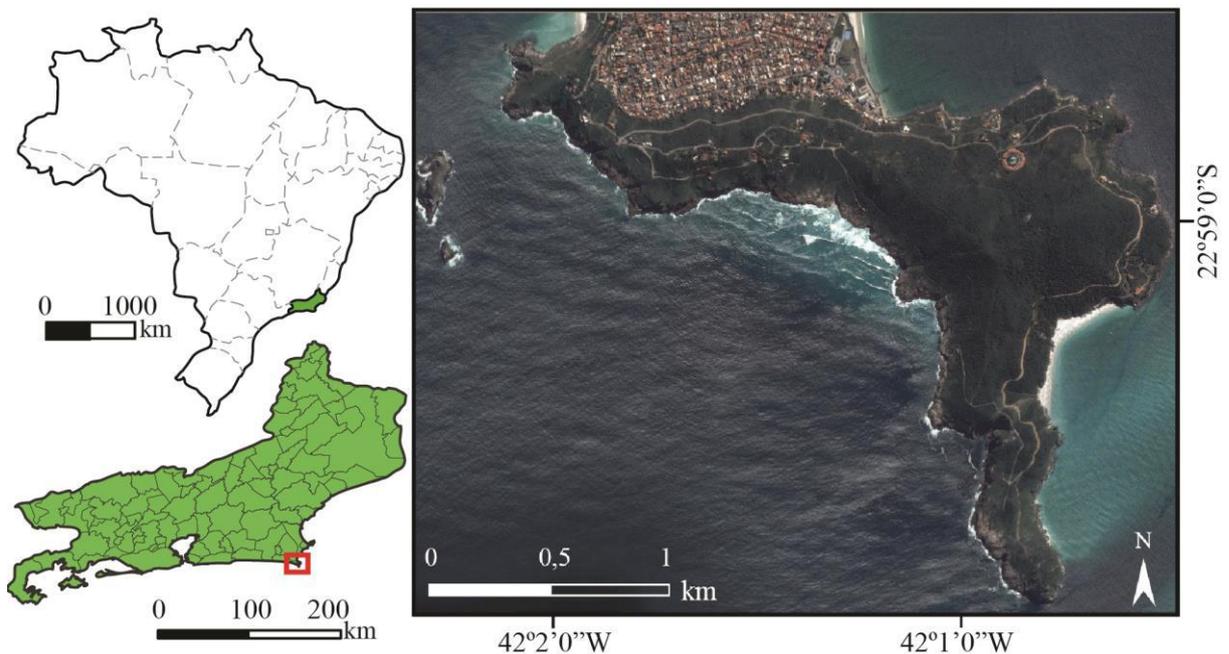


Figura 1. Mapa de localização do município de Arraial do Cabo no estado do Rio de Janeiro e imagem de satélite da área de estudo. Fonte: Google Maps.



Figura 2. Trajeto até o município de Arraial do Cabo a partir da cidade do Rio de Janeiro. Fonte: Google Maps.

## 1.2 Objetivo

O presente trabalho tem como objetivo a caracterização das rochas magmáticas que ocorrem na região do Pontal do Atalaia através da cartografia geológica, descrição petrográfica detalhada e geoquímica, sendo a espectroscopia Raman e microscopia eletrônica de varredura utilizadas como técnicas auxiliares. Pretende-se diferenciar as variedades dentro dos litotipos máficos e possivelmente contabilizar diferentes pulsos magmáticos, associando-os com eventos tectônicos.

### **1.3 - Materiais e métodos**

Para atingir os objetivos propostos optou-se por dividir a metodologia em três etapas: revisão bibliográfica, trabalhos de campo e atividades laboratoriais, detalhadas a seguir.

#### ***1.3.1 - Revisão bibliográfica***

A etapa inicial consistiu no levantamento bibliográfico de trabalhos anteriores no município de Arraial do Cabo. Foram considerados estudos sobre a geologia com ênfase nos dados sobre a caracterização das unidades em termos de campo, petrografia, geoquímica e dados geocronológicos.

#### ***1.3.2 - Trabalho de campo***

As atividades de campo foram realizadas em oito dias não consecutivos e consistiram na cartografia geológica das intrusões ígneas na escala de 1:5.000 com posterior compilação de dados para 1:10.000. Foi realizado também o reconhecimento das variedades litológicas, coleta de amostras para estudos laboratoriais posteriores, coleta de dados estruturais e registro fotográfico. Uma tabela de pontos resumida com código do ponto, latitude, longitude, litologia e atitude da intrusão é apresentada no Anexo I.

O padrão AC-EG-00 foi adotado para a nomenclatura de cada ponto marcado nos trabalhos de campo realizados para este estudo, enquanto a nomenclatura AC-DQ-00 refere-se a pontos resgatados de trabalhos de campo em etapas anteriores ao desenvolvimento deste projeto de pesquisa. Para cada ponto foi obtida a coordenada geográfica utilizando um GPS modelo Garmin eTrex 10 com o *datum* WGS84, bem como foram realizadas descrições dos afloramentos e das características das rochas. Os dados estruturais, que referem-se à foliação e atitude das intrusões, foram coletados em *dip direction/dip* com uma bússola modelo Brunton Eclipse 70M com declinação magnética de 22° 25' W.

#### ***1.3.3 - Atividades de laboratoriais***

Esta etapa foi composta pela confecção dos mapas, descrição de lâminas petrográficas, análise em espectroscopia Raman e microscópio eletrônico de varredura (MEV), preparação de amostras para geoquímica e posterior interpretação destes dados.

Os mapas de pontos (Anexo II) e de distribuição das intrusões ígneas (Anexo III) foram elaborados nos *softwares* ArcGIS for desktop 10.3 e Adobe Illustrator CC 2014 a partir dos dados obtidos em campo.

As lâminas petrográficas foram confeccionadas no Laboratório de Laminação do Museu Nacional – UFRJ e descritas sob luz transmitida em um microscópio modelo Zeiss® Axioskop 40, entretanto, foram destruídas no incêndio do Museu Nacional no dia 02 de setembro de 2018.

As análises de espectroscopia Raman e EDS foram realizadas no laboratório do Setor de Caracterização Tecnológica no Centro de Tecnologia Mineral (CETEM). Essas foram utilizadas como ferramentas complementares à petrografia, visando a caracterização de minerais quando esses não foram identificados por microscopia ótica, bem como para a verificação da composição química de minerais já identificados. O procedimento de preparação para essas análises consistiu no polimento manual das seções delgadas, utilizando-se um pano de poliéster de dureza média/elevada em conjunto com pasta de diamante de 3 µm e álcool como lubrificante.

Nas análises de espectroscopia Raman foi utilizado um microespectrômetro LabRAM HR Horiba Jobin-Yvon acoplado a um microscópio petrográfico, com laser He(Ne) com comprimento de onda 632,8 nm. Após a aquisição dos espectros, esses foram comparados aos padrões do banco de dados do site ruff (ruff.info). Já as análises em EDS foram realizadas no equipamento Hitachi modelo Tabletop TM3030 Plus. Executadas com 15 kV de tensão de aceleração de elétrons, 120 segundos de exposição e a baixo vácuo pois não foram metalizadas.

A preparação para análise geoquímica foi realizada no Laboratório Geológico de Preparação de Amostras (LGPA-UERJ) e consistiu na fragmentação das amostras em uma bigorna e posterior processamento em um moinho de bolas de tungstênio por cerca de 20 minutos. Estas amostras foram condicionadas em potes plásticos e enviadas para análise no ALS (*Australian Laboratory Services*) localizado em Belo Horizonte - Minas Gerais.

O tratamento dos dados geoquímicos, apresentados nos Anexos IV e V, incluiu a elaboração de gráficos, retas, tratamento estatístico e cálculo da norma CIPW. Para tal foi utilizado o *software* Microsoft Office Excel e o sistema GCDKit (*GeoChemical Data toolkit*) no *software* estatístico R. As retas dos gráficos de dispersão foram elaboradas através do *software* Microsoft Office Excel, que por padrão utiliza o método dos mínimos quadrados para a obtenção da equação da reta e coeficiente de determinação ( $R^2$ ), utilizado para medir a qualidade do ajustamento de uma linha de regressão, como descrito no Anexo VII. A norma CIPW foi calculada no *software* Newpet e os resultados estão dispostos nas tabelas do Anexo VI). Os minerais normativos são referidos nestas tabelas e nos capítulos deste trabalho por sua sigla em itálico: *Ab* – albita; *An* – anortita, *Ap* – apatita, *Cm* – cromita, *Di* – Diopsídio, *Hm* – hematita, *Hy* – hiperstênio, *Il* – ilmenita, *Lc* – leucita, *Mt* – magnetita, *Ol* – olivina, *Or* – ortoclásio, *Q* – quartzo, *Tn* – titanita, *Z* – zircão.

## 2 GEOLOGIA REGIONAL

### 2.1 Introdução

A Província Mantiqueira (Figura 3) é um sistema orogênico neoproterozoico definido por Almeida *et al.* (1981) cuja formação se deu durante o ciclo Brasileiro, resultando na amalgamação do paleocontinente Gondwana Ocidental. Esta província é subdividida nos segmentos setentrional, central e meridional e constituída pelos orógenos Araçuaí, Ribeira, Brasília Meridional, Dom Feliciano e São Gabriel (Heilbron *et al.*, 2004).

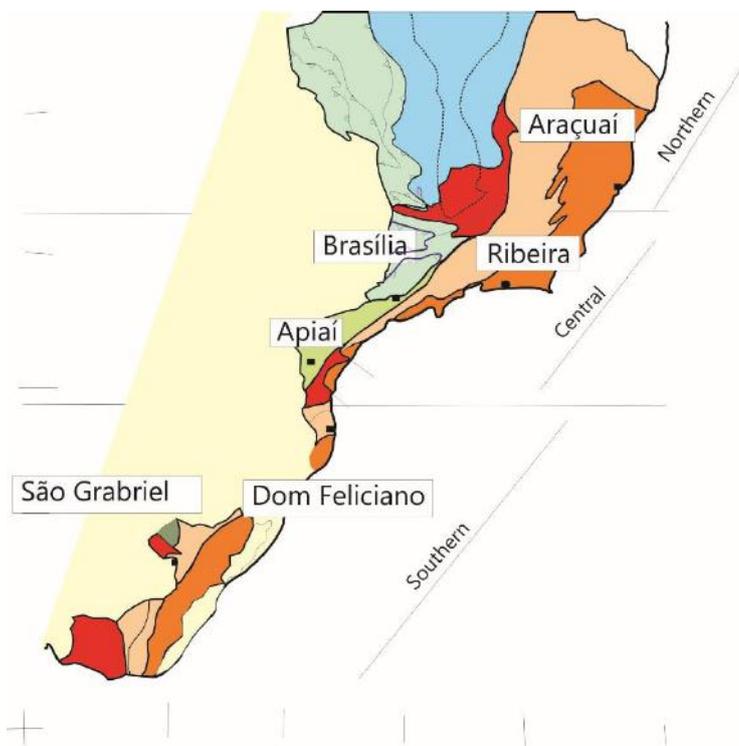


Figura 3. Compartimentação da Província Mantiqueira: segmento setentrional composto pela Faixa Araçuaí; segmento central formado pelas faixas Ribeira, Apiaí e a porção sul da Faixa Brasília; segmento meridional inclui as faixas Dom Feliciano e São Gabriel (Heilbron *et al.*, 2004).

A região do município de Arraial do Cabo está inserida na Faixa Ribeira, que se estende por 1.400 km na direção NE-SW ao longo da costa sudeste do Brasil e faz parte do segmento central da Província Mantiqueira. A formação deste orógeno é atribuída à convergência entre o paleocontinente São Francisco-Congo, uma série de micropalacas e o sudoeste do Cráton de Angola. Esta convergência teria ocorrido durante o Neoproterozoico – Cambriano sendo o último evento tectônico no início do Ordoviciano, resultando em diversas orogenias diácronas (Heilbron *et al.*, 2008).

Segundo Heilbron *et al.* (2000, 2004) o segmento central da Faixa Ribeira é dividido em quatro terrenos tectonoestratigráficos, acrescidos ao paleocontinente em diferentes

episódios: Terreno Ocidental, Paraíba do Sul, Oriental e Domínio Tectônico de Cabo Frio (Figura 4).

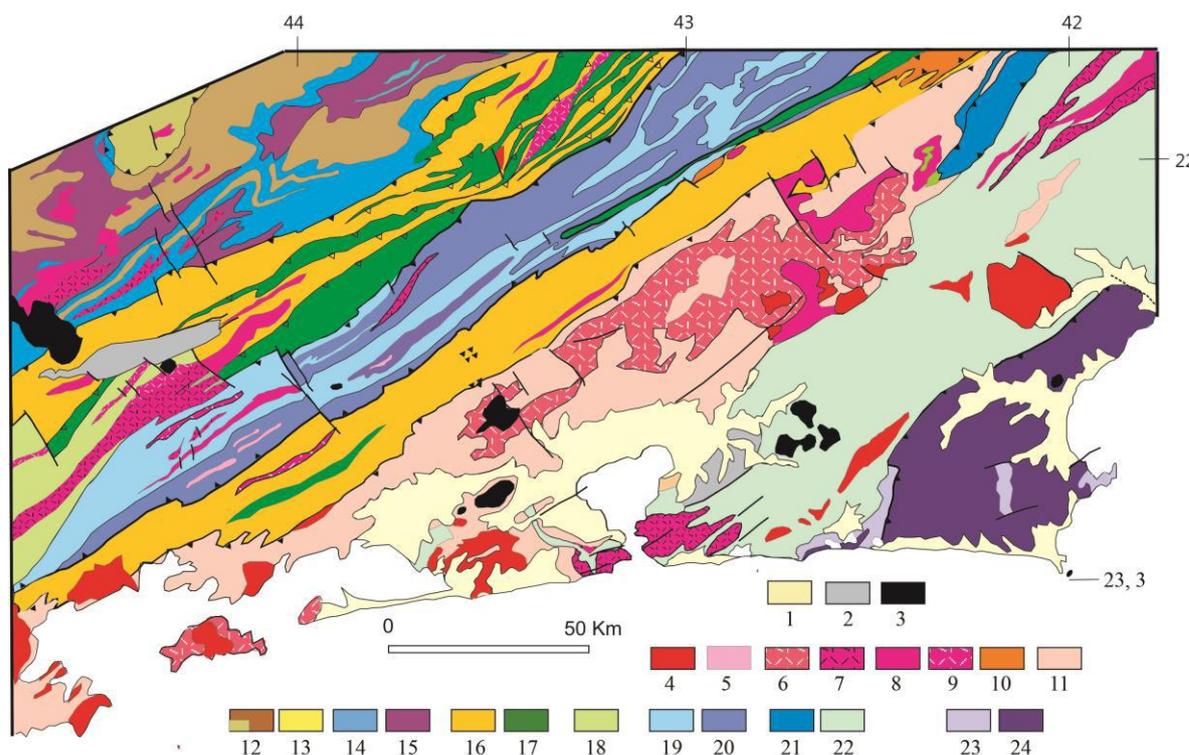


Figura 4. Mapa simplificado da porção sudeste da Faixa Ribeira (Heilbron *et al.*, 2004). Legenda 1- Sedimentos quaternários; 2- Sedimentos terciários; 3- Rochas alcalinas cretáceas/terciárias; 4-8 Granitoide Brasileiro sin a pós-colisionais; 9-10- Granitoides com idade indeterminada; 11-Arco magmático Rio Negro; 12-17- Terreno Ocidental: 12-14- Megassequência Andrelândia, 15- Complexo Mantiqueira, 16- Fácies distais da Megassequência Andrelândia no Domínio Juiz de Fora, 17- Complexo Juiz de Fora; 18- Complexo Embu indiviso; 19-20- Terreno Paraíba do Sul, 19- Grupo Paraíba do Sul, 20-Complexo Quirino; 21-22-Terreno Oriental, 21-Sucessão metassedimentar Italva, 22-Sucessão metassedimentar Costeiro; 23-24- Domínio Tectônico Cabo Frio, 23- Sucessão Búzios e Palmital, 24- Complexo Região dos Lagos.

O Terreno Ocidental é associado a rochas do Cráton do São Francisco retrabalhadas e à sucessão referente à margem passiva neoproterozoica. Esse terreno é compartimentado nos domínios estruturais Autóctone, Andrelândia e Juiz de Fora que possuem associações de rochas do embasamento e sucessões de unidades metassedimentares relacionadas à margem passiva do paleocontinente.

O Terreno Paraíba do Sul (*Klippe* Paraíba do Sul) compreende o Complexo Quirino e o Grupo Paraíba do Sul, representados por gnaisses paleoproterozoicos e rochas metassedimentares. A geologia estrutural sugere que este terreno teria sido amalgamado lateralmente há 605 – 580 Ma (Heilbron *et al.*, 2008).

Em seguida, há *ca.* de 580 – 550 Ma há a colisão do Terreno Oriental, caracterizado pela ausência de embasamento, rochas de arcos magmáticos juvenis, arcos continentais e rochas supracrustais. Estas últimas foram divididas em três domínios estruturais: Cambuci, Costeiro e Italva. O Domínio Italva é interpretado como uma margem passiva proximal ou bacia de *back-*

*arc* (Heilbron & Machado, 2003), o Domínio Cambuci é interpretado como uma bacia de *fore-arc* e a sequência do Domínio Costeiro representa a porção distal da margem passiva de um microcontinente separado do Cráton do São Francisco.

O Domínio Tectônico de Cabo Frio teria colidido há 530 – 510 Ma na chamada Orogenia Búzios (Schmitt *et al.*, 2004). É composto pela Unidade Região dos Lagos, representada por ortognaisses paleoproterozoicos (*ca.* 1,9 Ga), e pela Unidade Forte de São Mateus e Búzios – Palmital, sucessão metassedimentar mais recente.

## **2.2 Magmatismo do sul-sudeste do Brasil**

### **2.2.1 Magmatismo toleítico**

A fragmentação do Gondwana durante o Cretáceo Inferior e o início do Cenozoico é associada à intenso magmatismo de caráter essencialmente toleítico com ocorrências por toda Plataforma Sul-americana. Na região sul-sudeste do Brasil este magmatismo é representado pela Província Paraná-Etendeka, por intercalações de derrames basálticos nas bacias de rifte e pelos Enxames de Diques de Ponta Grossa, de Florianópolis e Santos – Rio de Janeiro (Almeida, 1986).

Aos derrames da Província Paraná-Etendeka são atribuídas idades de 137-127 Ma pelo método Ar-Ar (Turner *et al.*, 1994). Estas rochas foram separadas por Bellieni *et al.* (1984) em suítes de baixo-TiO<sub>2</sub>, quando a concentração de TiO<sub>2</sub> é menor do que 2%, e em suítes de alto-TiO<sub>2</sub>, quando a concentração é maior do que 2%. Posteriormente, Peate *et al.* (1992) caracterizou seis tipos distintos de magma com base em elementos maiores e traços. Segundo estes autores as suítes de baixo-TiO<sub>2</sub> dividem-se nos tipos Gramado, Esmeralda e Ribeira, enquanto as suítes de alto-TiO<sub>2</sub> são compostas pelos tipos Urubici, Pitanga e Paranapanema.

A extrusão dos derrames basálticos precedeu o rifteamento nas bacias de Campos, Santos, Pelotas e Espírito Santo. Fodor *et al.* (1983) obtiveram dois grupos de idades pelo método K-Ar, sendo o mais antigo correlacionável aos derrames da Província Paraná-Etendeka, com idades desde  $138,1 \pm 3,5$  até  $104,9 \pm 2,6$  Ma. Um outro grupo de idades, mais recentes vão desde  $75,2 \pm 2,2$  a  $43,2 \pm 2,1$  Ma, sendo associadas pelos autores à reativação de zonas de fraqueza.

Os enxames de diques são considerados cronocorrelatos aos derrames basálticos da Província Paraná-Etendeka e seus *strikes* principais formam aproximadamente uma junção tríplice, indicativa dos campos de esforços atuantes durante a colocação desses corpos (Figura 5). A afinidade química de alguns dos tipos magmáticos sugere que estes enxames serviram de alimentadores para os derrames.

O Enxame de Diques de Ponta Grossa ocorre no litoral da região sul do Brasil e estende-se até as bordas dos derrames da Província Paraná-Etendeka. Apresenta idades de  $132 \pm 10$  a  $129,2 \pm 0,4$  Ma datados pelo método Ar-Ar por Renne *et al.* (1996). Estas intrusões apresentam direção principal NW-SE e são interpretados como os condutos alimentadores dos derrames na porção norte do Paraná, associados à fase inicial de rifteamento (Piccirillo *et al.*, 1990).

O Enxame de Diques de Florianópolis está localizado na Ilha de Santa Catarina e no litoral adjacente, com corpos posicionados principalmente segundo a direção NE-SW. Raposo *et al.* (1998) estimam idades de  $128,3 \pm 0,5$  a  $119 \pm 0,9$  Ma (Ar-Ar) e sugerem que a formação destas intrusões pode ser relacionada ao estágio final de rifteamento, anterior à formação de crosta oceânica.

Pelo litoral dos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Espírito Santo estendem-se os corpos que compõe o Enxame de Diques Santos – Rio de Janeiro, alinhados na direção NE-SW. Dados geocronológicos ainda são inconclusivos, com uma idade K-Ar reportada por Conceição *et al.* (1997) em  $126 \pm 2$  Ma e dois grupos de idades relatados por Guedes *et al.* (2005), com um pulso mais antigo em  $192,9 \pm 2,2$  a  $160,9 \pm 1,9$  Ma e outro mais recente em  $148,3 \pm 3$  a  $133,9 \pm 0,5$  Ma. Bennio *et al.* (2003) determinaram idades Ar-Ar em torno de 55 Ma na região de Arraial do Cabo - RJ, contemporâneo ao magmatismo alcalino da região.

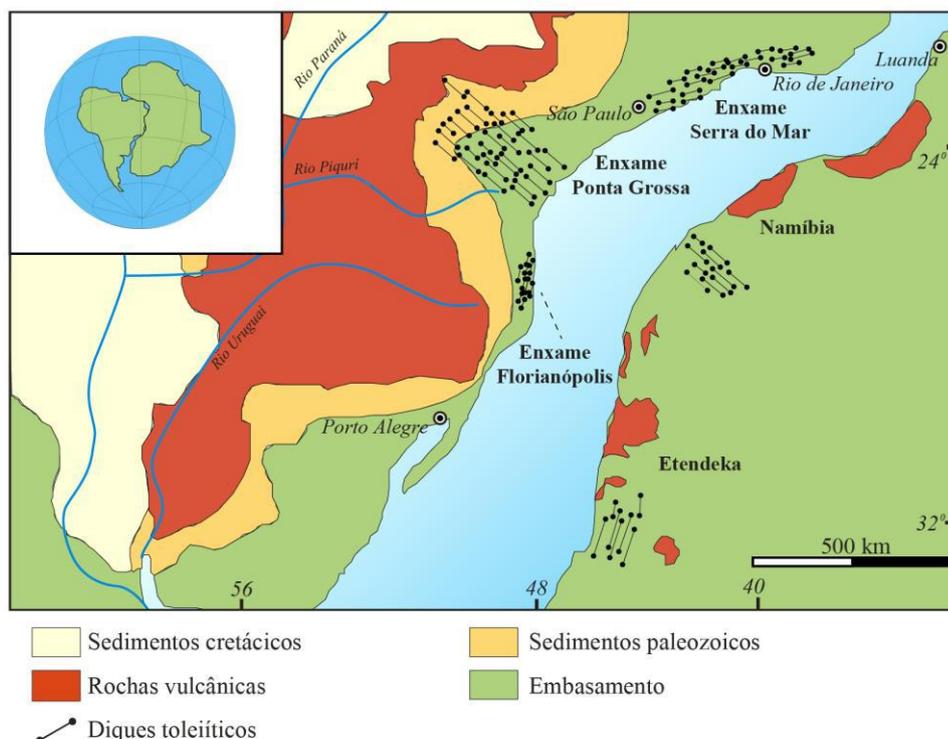


Figura 5. Registro do magmatismo no sul-sudeste do Brasil e no oeste africano. Composto pela Província Paraná-Etendeka, e os enxames de diques de Ponta Grossa, Florianópolis, Santos – Rio de Janeiro, Namíbia e Etendeka (Adaptado de Marques & Ernesto, 2004).

### 2.2.2 Magmatismo alcalino

Na região sudeste do Brasil ocorrem uma sequência de rochas alcalinas que formam *stocks*, *plugs*, diques e *sills* compreendidas no Alinhamento Alcalino Poços de Caldas - Cabo Frio (Figura 6). O alinhamento se estende na direção WNW-ESE e é composto, de oeste para leste, pelos complexos de Poços de Caldas, Passa Quatro, Itatiaia, Morro do Redondo, Mendanha, Tinguá, Tanguá, Soarinho, Rio Bonito, Morro do São João e Ilha do Cabo Frio (Almeida, 1986).

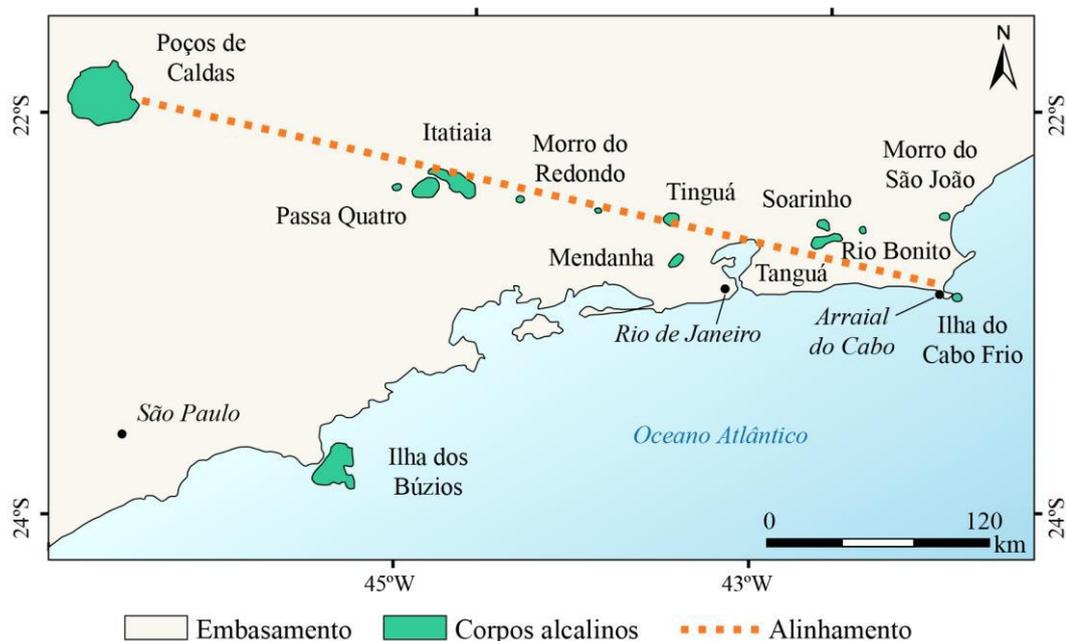


Figura 6. Mapa dos principais corpos constituintes do Alinhamento Alcalino Poços de Caldas - Cabo Frio (Adaptado de Almeida, 1986).

As litologias dos corpos principais são essencialmente félsicas e estão relacionadas à diversos corpos tabulares de traquito e fonolito. As idades dos corpos principais variam de  $74,6 \pm 2,3$  Ma para o corpo de Poços de Caldas até  $52,3 \pm 1,66$  Ma para a Ilha do Cabo Frio, indicando corpos mais jovens em direção ao litoral (Thomaz Filho & Rodrigues, 1999).

Litotipos máficos, como gabros alcalinos, lamprófiros e lamproitos, ocorrem de forma restrita, geralmente sob a forma de diques pontuais que intrudem o embasamento. Entretanto, idades radiométricas ainda são escassas na literatura. Ferrari (2001) reporta a datação de um dique de lamprófiro localizado a sul do maciço do Mendanha no estado do Rio de Janeiro pelo método Ar-Ar com  $77 \pm 1,0$  Ma. Guedes *et al.* (2005) relatam  $82,6 \pm 1,7$  Ma, também em um dique de lamprófiro, próximo à Bacia de Resende no estado do Rio de Janeiro.

A gênese dessas rochas ainda é questão de discussão na literatura, sendo atribuídas à reativação de zonas de fraqueza na litosfera (Almeida, 1986), passagem da placa Sul-americana por um *hotspot* (Thomaz Filho & Rodrigues, 1999) e deflexão e interação de uma pluma com o Cráton do São Francisco (Thompson *et al.*, 1998).

### 2.3 Trabalhos anteriores na área de estudo

O magmatismo toleítico e alcalino da região do Pontal do Atalaia já foi alvo de diversos estudos, com diferentes enfoques e escalas de trabalho (e.g. Araújo, 1995; Bennio *et al.* 2003; Motoki *et al.* 2008.; Sichel *et al.* 2008). Estudos petrográficos, geoquímicos e de modelagem geoquímica são mais comuns enquanto idades radiométricas ainda são escassas na literatura.

Araújo (1995) descreve as rochas alcalinas da Ilha do Cabo Frio e áreas continentais adjacentes, incluindo o Pontal do Atalaia. Segundo a autora os diques são de basaltos, lamprófiros, fonolitos e traquitos, com direções essencialmente NE-SW, encaixadas em gnaisse do embasamento. É descrita, ainda, a ocorrência de dois corpos de nefelina sienito, um no Morro do Forno e outro na porção leste do pontal, conforme o mapa geológico da figura 7.

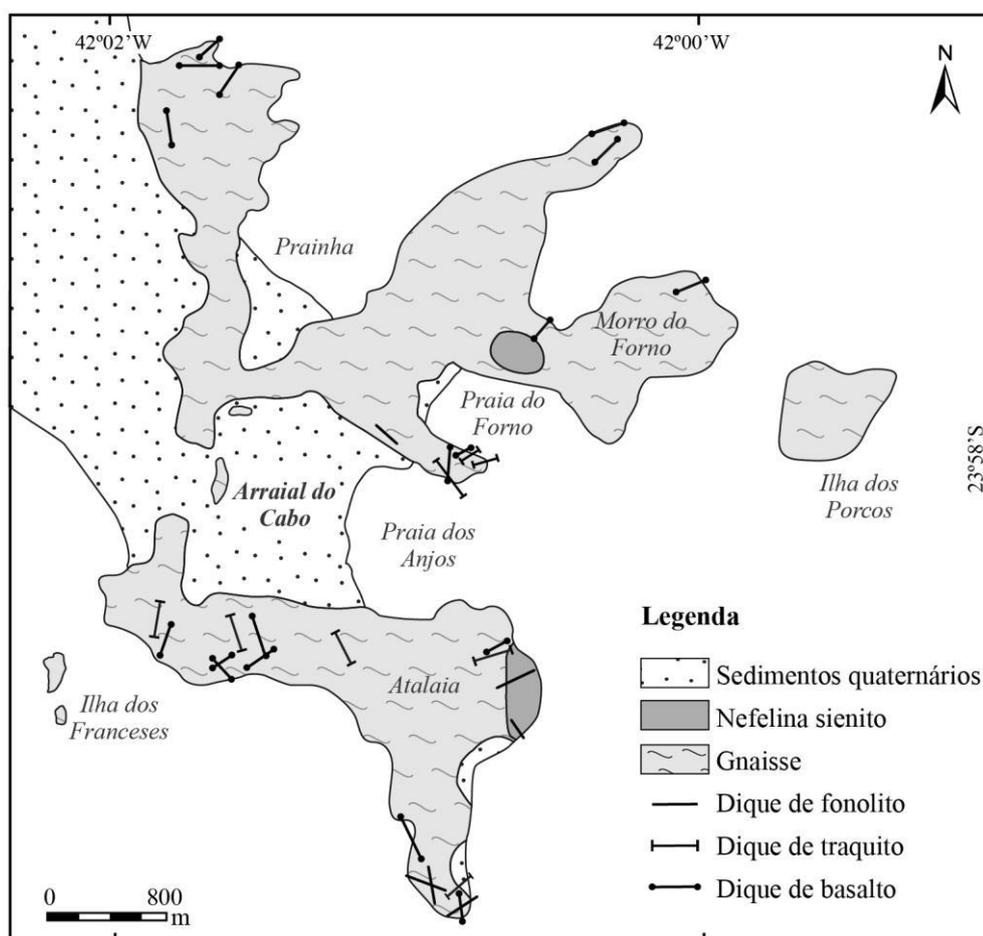


Figura 7. Mapa geológico do Pontal do Atalaia e adjacências de Araújo (1995) mostrando o posicionamento dos diques de basalto, traquito e fonolito, além de dois corpos de nefelina sienito.

Bennio *et al.* (2003) analisaram aspectos petrogenéticos do magmatismo toleítico a partir de dados petrográficos, geoquímicos e radiométricos. Foram analisadas 37 amostras de diabásio da área do Pontal do Atalaia e da região a norte da cidade de Arraial do Cabo, o mapa geológico é apresentado na figura 8. Segundo os autores as intrusões apresentam até 2 metros de espessura e direção NW-SE, com textura dolerítica e raramente porfirítica. Os diques foram

divididos em dois grupos geoquímicos, um de composição basáltica e outro mais evoluído de andesitos basálticos, ambos de baixo-TiO<sub>2</sub> e considerados comagmáticos. Os autores reportam idades Ar-Ar de 55 Ma e consideram que este magmatismo toleítico seria cronocorrelatos ao magmatismo alcalino da região.

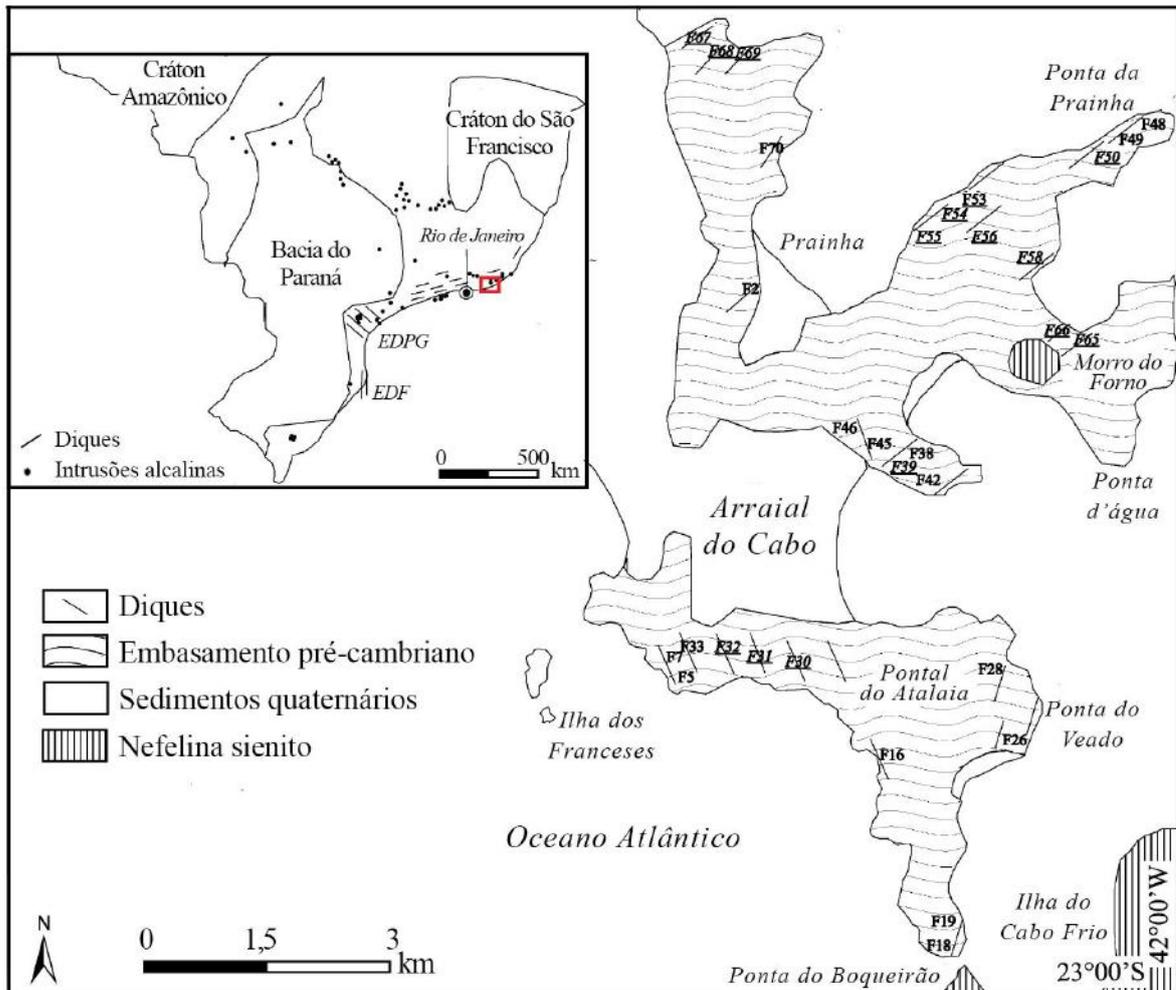


Figura 8. Mapa das intrusões estudadas por Bennio *et al.* (2003) na região do Pontal do Atalaia e cidade de Arraial do Cabo – RJ (retângulo vermelho). EDPG – Enxame de Diques de Ponta Grossa; EDF – Enxame de Diques de Florianópolis.

Dutra (2006) trabalha com diques toleíticos de toda Região dos Lagos, na porção leste do estado do Rio de Janeiro (Figura 9), incluindo o Pontal do Atalaia. São descritos diques de basalto alongados na direção NE-SW, e, subordinadamente NNE-SSW e NW-SE, com textura porfírica e, por vezes, equigranulares. As amostras foram inseridas em uma única suíte de baixo-TiO<sub>2</sub> denominada Suíte Costa Azul, relacionada à Suíte Esmeralda que ocorre no sul da Província Paraná-Etendeka.

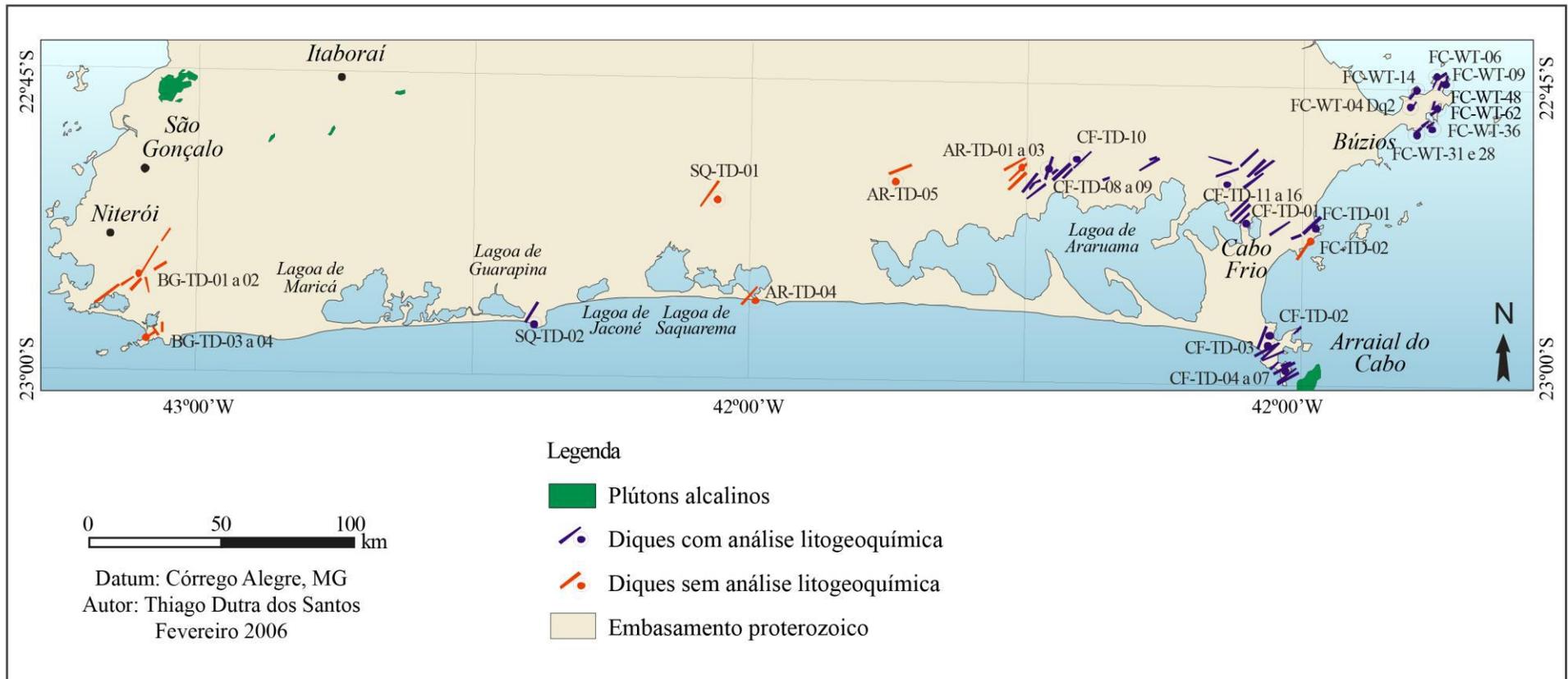


Figura 9. Mapa geológico do Enxame de Diques Santos – Rio de Janeiro na Região dos Lagos, litoral do estado do Rio de Janeiro (Dutra, 2006).

### 3 GEOLOGIA DE CAMPO

Neste capítulo serão descritos os litotipos identificados através da cartografia geológica realizada na região do Pontal do Atalaia, área alvo deste estudo, localizada no município de Arraial do Cabo - RJ. O mapeamento foi realizado na escala de 1:5.000 e os dados obtidos foram posteriormente compilados para a escala de 1:10.000 em um mapa de pontos (Anexo II) e de distribuição das intrusões ígneas (Anexo III). Os litotipos compreendem rochas do embasamento e intrusões ígneas representadas pelo diabásio, rocha de caráter toleítico, lamprófiro, traquito e fonolito, de caráter alcalino.

#### 3.1 Embasamento

O Domínio Tectônico Cabo Frio é representado na região pelas rochas da Unidade Região dos Lagos e Forte de São Mateus, que compõe o embasamento das unidades intrusivas mais recentes. Os afloramentos ocorrem essencialmente em costões rochosos como observado na figura 10.



Figura 10. Costão rochoso formado pelas unidades do embasamento, ortognaisse da Unidade Região dos Lagos (Og) e anfibolito da Unidade Forte de São Mateus (Af), na vertente oeste do Pontal do Atalaia.

A Unidade Região dos Lagos corresponde a ortognaisses compostos por plagioclásio, quartzo, anfíbólio e, localmente, granada e veios de epidoto. A variação na deformação ocorre em grande escala, mas também pode ser observada em áreas de poucos metros, de forma abrupta ou gradual. Na Ponta da Cabeça ocorrem estruturas nucleadas (Figura 11a e 11b) onde a porção externa está intensamente deformada enquanto a porção interna possui textura ígnea preservada, caracterizando uma variação abrupta. Já na região sul da Praia Grande a mesma unidade apresenta uma variação gradual desde uma porção foliada, passando por uma textura

com porfiroblastos de quartzo até uma brecha de matriz fina (Figura 12). Foram observadas também texturas porfíricas preservadas e xenólitos de litologias não diferenciadas, figura 13a e 13b, respectivamente.



Figura 11. Variação textural abrupta no ortogneisse da Unidade Região dos Lagos a) estrutura nucleada e b) detalhe. Ponto AC-EG-17 localizado ao sul da Praia Grande.



Figura 12. Ortogneisse do embasamento com variação textural gradual. Em poucos centímetros há variação do ortogneisse foliado (na esquerda da foto) que passa para porfiroblastos de quartzo e feldspato (no centro) até uma porção brechada (na direita inferior). Ponto AC-EG-05-B localizado na Praia Grande.

Os anfibolitos atribuídos à Unidade Forte de São Mateus ocorrem sob a forma de lentes, xenólitos e diques de tamanhos variados encaixados no ortogneisse. As lentes podem apresentar até 40 metros de espessura e geralmente ocorrem falhadas e com injeções félsicas, como pode ser observado no afloramento da figura 14a, que também apresenta uma dobra de arraste. Os diques apresentam espessuras variadas e podem ocorrer dobrados como na figura 14b.

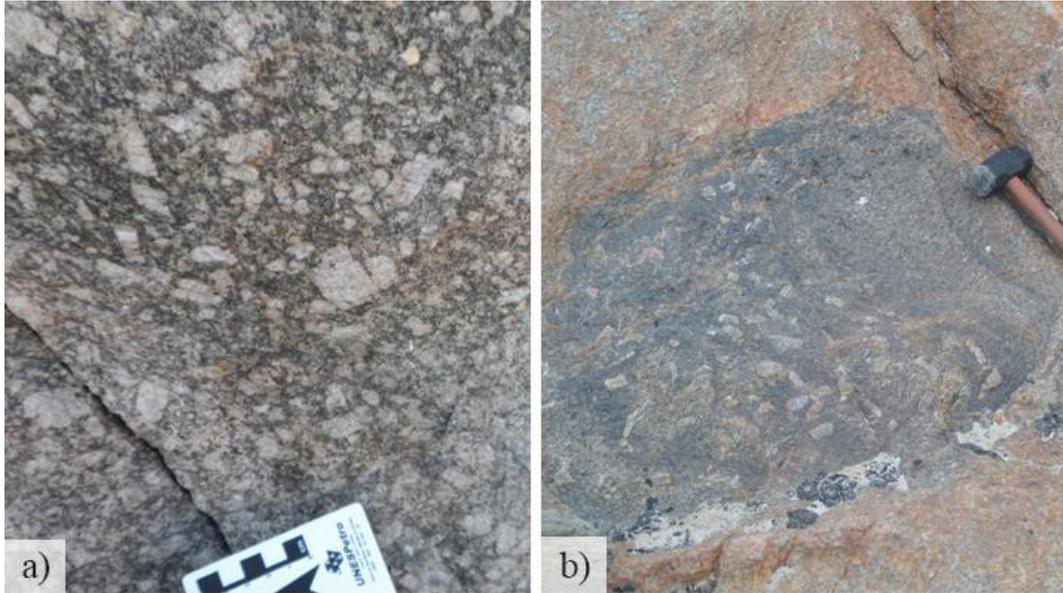


Figura 13. Ortognaisse do embasamento com a) textura porfirítica preservada com fenocristais de feldspato tabulares e b) xenólito de litologia não diferenciada com fenocristais euédricos de feldspato e foliação concordante com a foliação do ortognaisse encaixante. Pontos AC-DQ-12 na porção nordeste da área e AC-EG-62 na Ponta da Cabeça, respectivamente.



Figura 14. Afloramentos no ponto AC-EG-12 de a) lente anfibolítica com injeções félsicas falhadas e dobra de arraste e b) ortognaisse e dique de metabasito metaforfisado e transformado em anfibolito.

### 3.2 Magmatismo toleítico

Foram cartografadas um total de 23 intrusões de diabásio na área de estudo sendo que 17 dessas foram afloramentos visitados em trabalhos de campo. Já as demais intrusões deste total foram avistadas ao longe durante o campo ou identificadas através de imagem de satélite e adicionadas ao mapa posteriormente, devido à impossibilidade de acesso.

As intrusões de diabásio ocorrem encaixadas nas rochas do embasamento e são intrudidas por corpos de traquito (Figura 15 e 16) e fonolito (Figura 17), entretanto não foi observada nenhuma relação com os diques de lamprófiro.



Figura 15. Dique de diabásio com aproximadamente 30 metros de espessura intrudido por dique de traquito, ponto AC-EG-21 próximo à Ponta da Cabeça.

A forma de ocorrência se dá por diques e soleiras, retilíneos ou escalonados, que variam desde poucos centímetros até 30 metros de espessura, sendo estes últimos reconhecíveis em imagem de satélite. No geral predominam diques que irradiam de uma intrusão principal, como apresentado na figura 17, mas também ocorrem intrusões únicas. As texturas observadas em campo são afaníticas e porfiríticas com fenocristais de plagioclásio de até 4 mm (Figura 18). Estas texturas podem ser homogêneas por todo o corpo ou heterogêneas, apresentando também bordas de resfriamento com granulação mais fina do que o interior (Figura 19).



Figura 16. Dique vertical de diabásio (Db) intrudindo ortogneisse (Og) e anfibolito (Af) do embasamento. Este dique é ainda intrudido por uma soleira de traquito (Tq). Ponto AC-EG-12, vertente oeste próximo ao Canal do Boqueirão.



Figura 17. Intrusões sub-horizontais ( $Db_h$ ) de diabásio que irradiam de um dique principal (Db). As intrusões menores foram posteriormente cortadas pelo dique de fonolito (Fn), ponto AC-EG-11 e AC-EG-13, na vertente oeste próximo ao Canal do Boqueirão.



Figura 18. Intrusão de diabásio com textura porfírica marcada por fenocristais tabulares de plagioclásio de até 2 mm de tamanho. Intrusão localizada a sul da Ponta da Cabeça no ponto AC-EG-21.



Figura 19. Margem resfriada com granulação mais fina em dique de diabásio porfírico do ponto AC-EG-21 a sul da Ponta da Cabeça.

### 3.3 Magmatismo alcalino

O magmatismo alcalino no Pontal do Atalaia é representado por intrusões de lamprófiro, traquito e fonolito. Essas diferem entre si quanto a abundância, espessura, tipo de afloramento, distribuição na área de estudo, relação intrusiva e orientação. Em campo é possível observar que as intrusões estão encaixadas nas rochas do embasamento e com relação de corte entre si. O fonolito ocorre intrudindo diques de traquito que por sua vez intrude diques de diabásio, já o lamprófiro não foi observado intrudindo outras litologias que não aquelas do embasamento. Pode-se estabelecer, portanto, uma cronologia relativa sendo as intrusões de diabásio as mais

antigas, seguidas pelo traquito e posteriormente fonolito, não sendo possível posicionar temporalmente as intrusões de lamprófiro.

O lamprófiro é a litologia de menor dimensão e ocorrência na área de estudo com apenas cinco intrusões que concentram-se a oeste do Pontal do Atalaia. Foram mapeadas quatro intrusões na Praia Grande e uma na Praia Brava com espessuras que atingem no máximo 60 cm de largura com continuidade lateral de até poucos metros, como observado na figura 20. Em campo o lamprófiro pode apresentar textura afanítica sem fenocristais visíveis ou afanítica porfirítica com fenocristais euédricos de biotita (Figura 21). Em uma intrusão na Praia Grande foram observados fenocristais euédricos de feldspato (Figura 22a) e xenólitos de ortognaisse (Figura 22b), o que pode indicar assimilação da encaixante.



Figura 20. Dique de lamprófiro com 60 cm de espessura, encaixado no ortognaisse do embasamento, ponto AC-EG-01 localizado na Praia Grande.



Figura 21. Fenocristais de biotita (círculos amarelos) em matriz afanítica de um dique de lamprófiro na Praia Grande, ponto AC-EG-05-B.

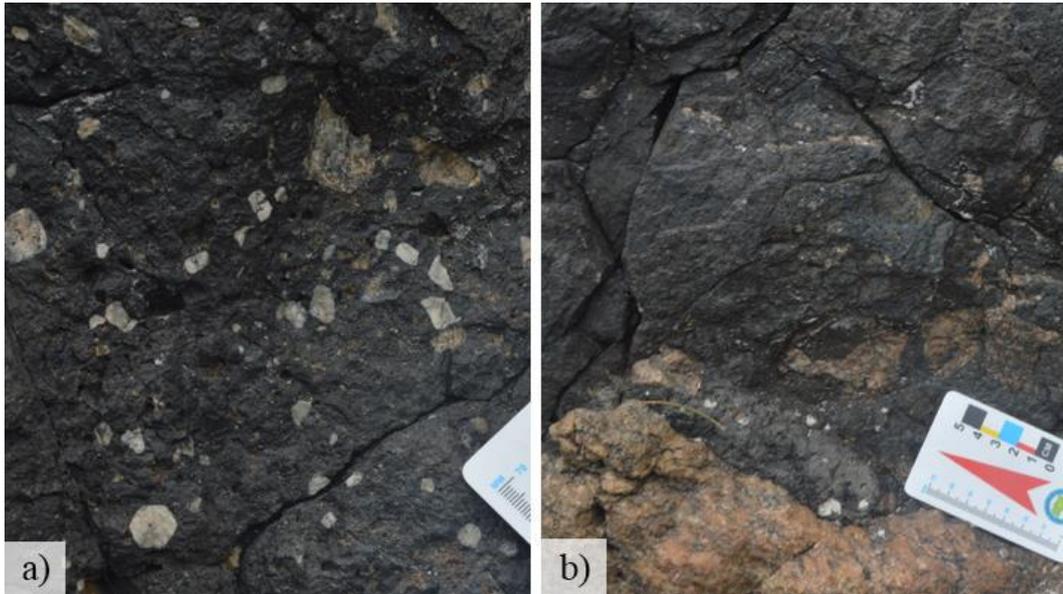


Figura 22. Dique de lamprófiro na Praia Grande (ponto AC-EG-01) apresentando a) fenocristais de feldspato euédricos e subédricos e b) xenólitos de ortogneisse.

O traquito é a litologia intrusiva com mais ocorrências no Pontal do Atalaia com um total de 37 diques e soleiras cartografados que podem ter até 3 metros de espessura. Estes corpos são observados cortando o diabásio (Figura 16), sendo cortados pelo fonolito e também com relação de corte entre si (Figura 23), o que pode indicar a existência de duas gerações distintas de traquito. Uma outra interpretação seria a ocorrência de um longo período de colocação e resfriamento deste magma, neste cenário estas intrusões seriam consideradas cogenéticas.

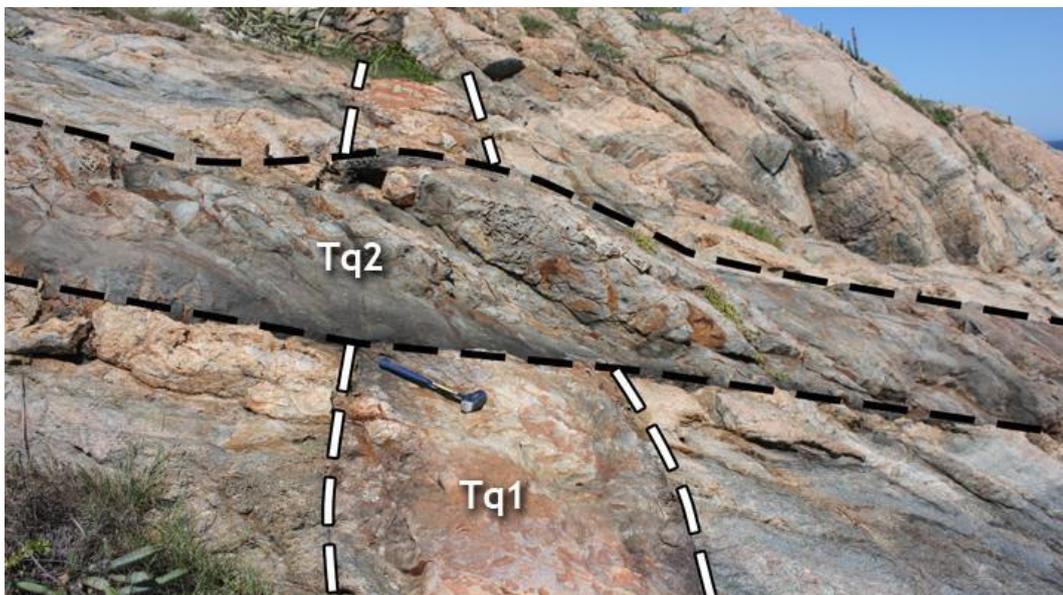


Figura 23. Relação de corte entre duas intrusões distintas de traquito, estas podem ser cogenéticas ou terem sido colocadas por diferentes pulsos magmáticos, sendo Tq1 o mais antigo e Tq2 mais recente. Afloramento do ponto AC-EG-09 localizado na vertente oeste próximo ao Canal do Boqueirão.

Em campo foram descritas duas variedades distintas de traquito que se cortam, entretanto, a relação temporal entre elas não foi definida. Uma variedade apresenta cor de alteração laranja e roxo, com fenocristais tabulares de feldspato enquanto a outra apresenta-se afanítica, com coloração mais escura (Figura 24). Foi observado ainda um único dique de traquito com amígdalas de até 2 cm de diâmetro e fraturas preenchidas por epidoto (Figura 25a), feição esta que não se repete em nenhum outro dique na área de estudo. As fraturas do embasamento ao redor desta intrusão também apresentam-se preenchidas por epidoto (Figura 25b).

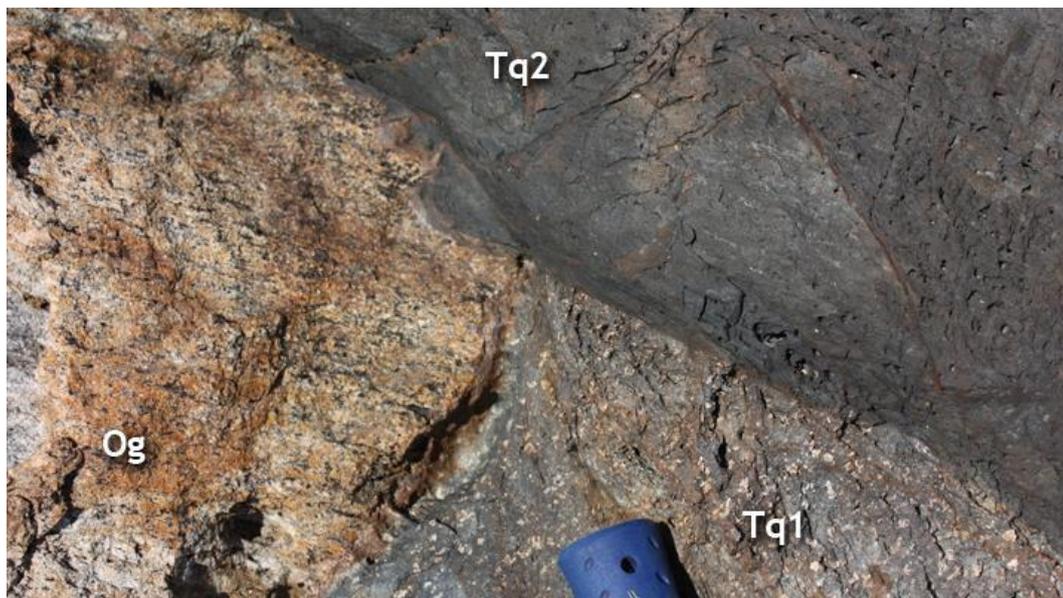


Figura 24. Duas variedades de traquito em contato intrusivo entre si e com o embasamento (Og), uma porfirítica com fenocristais de feldspato de até 5 mm de tamanho (Tq1) e outra afanítica de coloração mais escura (Tq2). Afloramento do ponto AC-EG-09 localizado na vertente oeste próximo ao Canal do Boqueirão.

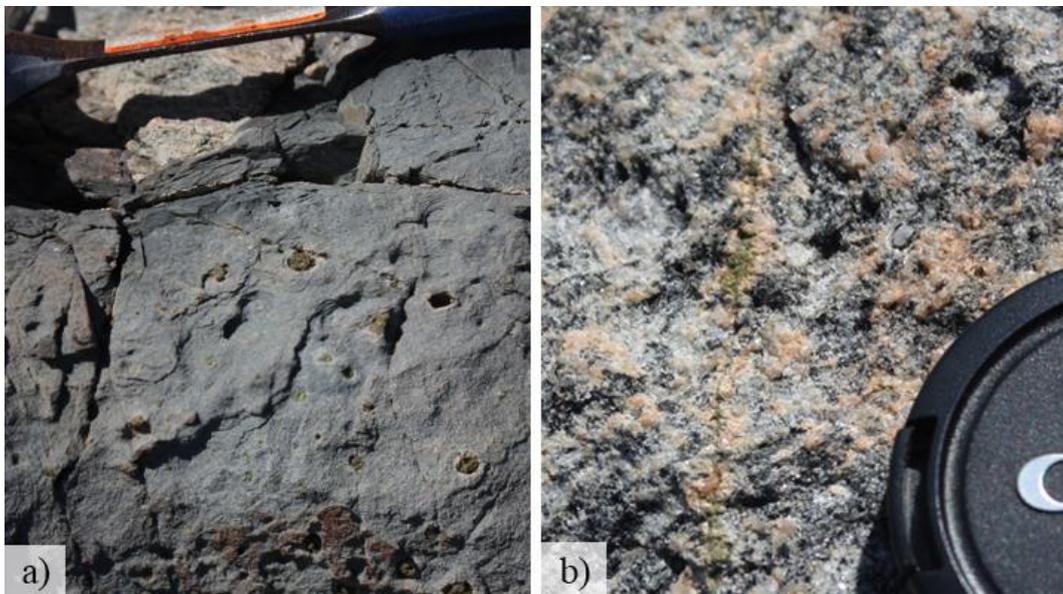


Figura 25. a) Intrusão de traquito com amígdalas e fraturas preenchidas por epidoto, ponto AC-EG-12-C. b) Ortognaisse do embasamento com fratura preenchida por epidoto próximo ao dique de traquito do ponto AC-EG-12-C.

O fonolito possui oito ocorrências, seis dessas concentram-se próximas ao Canal do Boqueirão enquanto as duas demais ocorrem próximas à Prainha do Pontal e do Caramuru, ambos na vertente leste da área. Em campo apresentam até 1 metro de espessura, ocorrem em contato intrusivo com o embasamento e foram observados também intrudindo corpos de diabásio e traquito (Figura 17 e 26). A textura observada em campo, em detalhe na figura 27, é porfirítica, com fenocristais tabulares de álcali-feldspato de até 1,5 cm e fenocristais de nefelina com hábito prismático hexagonal de até 5 mm.



Figura 26. Diques de traquito (Tq) com alteração de coloração alaranjada característica sendo intrudidos por dique de fonolito (Fn), ambos encaixados nas rochas ortognáissicas do embasamento. Ponto AC-EG-66 localizado na região sudoeste do Pontal do Atalaia, próximo ao Canal do Boqueirão.



Figura 27. Detalhe de dique de fonolito com fenocristais euédricos de álcali-feldspato e nefelina, ponto AC-EG-11, próximo ao Canal do Boqueirão.

### 3.4 Geologia estrutural

Os dados referentes às estruturas obtidos em campo referem-se à foliação e fraturas do embasamento bem como as atitudes das intrusões ígneas. Foi utilizado o *software* Openstereo para plotar estereogramas com os polos da foliação e fraturas do embasamento, enquanto que as direções das intrusões foram representadas em diagramas de roseta a fim de ressaltar a orientação de seus *strikes*.

As rochas do embasamento possuem deformação heterogênea com grandes variações em espaços restritos. A foliação, cujos polos foram plotados no estereograma da figura 28a, apresentou atitudes com mergulho geral para leste e direção de *strike* principal para NEN-SWS e uma direção subordinada NW-SE. As fraturas apresentaram ângulos de mergulho baixos e *strikes* variados, sendo a maior concentração em NE-SW, como pode ser observado no estereograma da figura 28b.

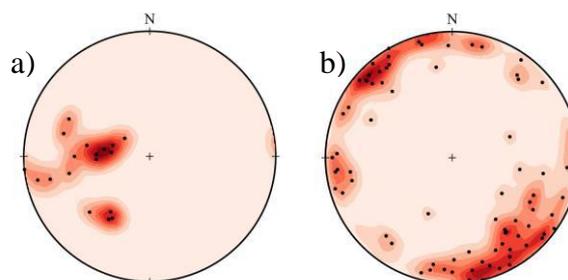


Figura 28. Estereogramas de densidade de polos para as rochas do embasamento: a) foliação do embasamento, evidenciando mergulhos essencialmente para leste; b) fraturas do embasamento, com *strikes* NW-SE e mergulhos suaves.

As direções das intrusões toleíticas e alcalinas foram representadas nos diagramas de roseta da figura 29 para melhor visualização das direções das mesmas. Os corpos de diabásio e traquito são mais numerosos na área de estudo, portanto possuem mais medidas e diagramas estatisticamente melhores, entretanto, o mesmo não ocorre com o lamprófiro e fonolito. Conforme os diagramas o lamprófiro, traquito e fonolito apresentam, respectivamente, orientações essencialmente NE-SW, NW-SE e ENE-WSW. O traquito apresenta, ainda, duas famílias de direção subordinadas, NE-SW e WNW-ESE. Estas diferenças nas direções dos litotipos reforça a atuação de diferentes campos de *stress* durante a colocação de cada um destes corpos e, portanto, sugerem diferentes pulsos magmáticos.

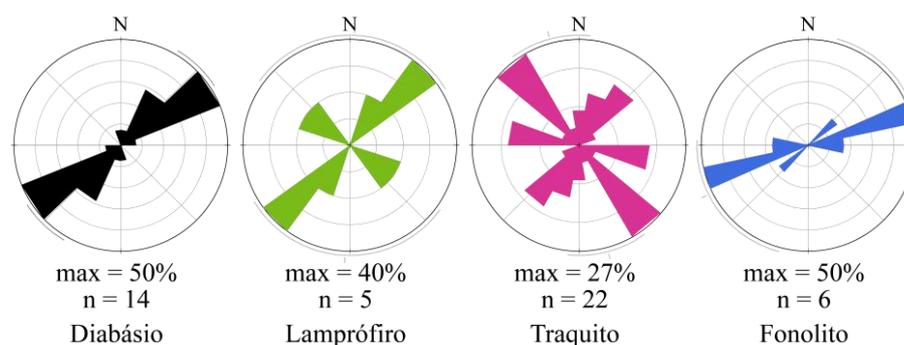


Figura 29. Diagramas de roseta para as direções das unidades intrusivas, sendo n o número de medidas para cada diagrama. Diabásio – NE-SW; lamprófiro –NE-SW e NW-SE; traquito – principal NW-SE e dois subordinados NE-SW e WNW-ESE; fonolito –ENE-WSW.

## 4 PETROGRAFIA

### 4.1 Introdução

Foram caracterizadas um total de 34 lâminas petrográficas neste estudo, sendo a relação entre o código da amostra e a litologia apresentada na tabela 1. Do total 17 são amostras de rochas do magmatismo toleítico caracterizadas como diabásio e 17 do magmatismo alcalino, que compreendem lamprófiros, traquitos e fonolitos. O embasamento não foi descrito pois apresenta diferentes fácies e litologias que deveriam ser caracterizadas separadamente e não fazem parte do escopo desta pesquisa que é voltada somente para o magmatismo mais recente.

Tabela 1. Relação das lâminas petrográficas descritas no presente trabalho, com o respectivo código e litologia da amostra.

<b>Lâmina</b>	<b>Litologia</b>	<b>Lâmina</b>	<b>Litologia</b>
AC-EG-01	Lamprófiro	AC-EG-42	Fonolito
AC-EG-02	Diabásio	AC-EG-49	Diabásio
AC-EG-05-B	Lamprófiro	AC-EG-51-A	Diabásio
AC-EG-09-A	Traquito	AC-EG-52	Diabásio
AC-EG-09-B	Traquito	AC-EG-55	Diabásio
AC-EG-11	Fonolito	AC-EG-56	Diabásio
AC-EG-12-A	Diabásio	AC-EG-57	Diabásio
AC-EG-12-B	Traquito	AC-EG-58-A	Diabásio
AC-EG-12-C	Traquito	AC-EG-58-B	Diabásio
AC-EG-14-B	Diabásio	AC-EG-60	Diabásio
AC-EG-19	Diabásio	AC-EG-61	Lamprófiro
AC-EG-21	Diabásio	AC-EG-62	Lamprófiro
AC-EG-26	Diabásio	AC-DQ-12	Lamprófiro
AC-EG-31	Traquito	AC-DQ-13	Traquito
AC-EG-32	Fonolito	AC-DQ-16	Fonolito
AC-EG-33-B	Traquito	AC-DQ-20	Diabásio
AC-EG-41-B	Traquito	AC-DQ-24	Traquito

## 4.2 Magmatismo toleítico

### 4.2.1 Diabásio

A suíte toleítica é representada por diques de diabásio com grande variação textural que não se correlaciona com posição geográfica, espessura e nem orientação das intrusões. A composição mineralógica é representada essencialmente por cristais de plagioclásio e clinopiroxênio que constituem rochas de granulação fina, com exceção de uma única amostra de granulação média. A textura glomeroporfirítica é a predominante neste litotipo, presente em sete das 13 amostras em seção delgada, é marcada por aglomerados que podem ser formados unicamente por fenocristais de plagioclásio ou por fenocristais de plagioclásio em conjunto com cristais de clinopiroxênio (Figura 30). Ocorrem ainda, amostras com fenocristais de olivina, alterados para iddingsita. Das demais amostras, quatro possuem textura equigranular e duas possuem textura porfirítica com fenocristais de plagioclásio. Em todas as amostras há a presença subordinada de textura ofítica e subofítica.

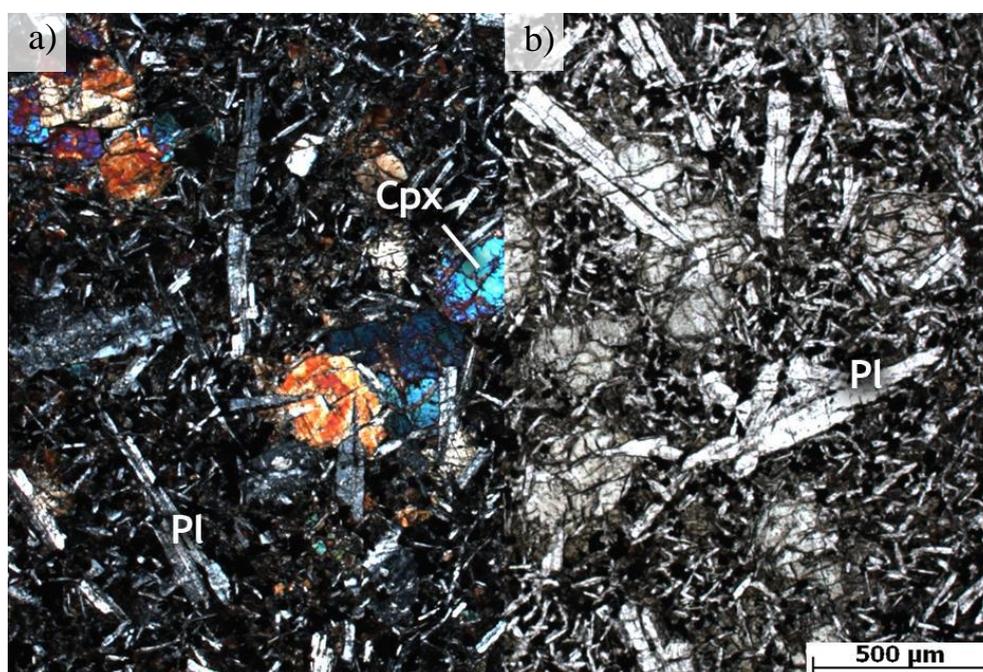


Figura 30. Fotomicrografia de diabásio com textura glomeroporfirítica marcada por aglomerados de fenocristais de clinopiroxênio (Cpx) e plagioclásio (Pl) em a) nicóis cruzados e b) nicóis paralelos. Ponto AC-EG-58-A, localizado na Praia Grande.

O plagioclásio deste litotipo ocorre tanto na matriz quanto como fenocristal com diferentes graus de alteração. Na matriz os cristais possuem a forma de ripas alongadas que variam de 0,2 mm até 2 mm de tamanho e apresentam-se pouco a moderadamente alterados. Já os fenocristais são subédricos de hábito tabular de 1 a 4 mm de comprimento e apresentam alteração variável. Como observado nas figuras 31a e 31b, ocorrem desde cristais muito bem

preservados até cristais com extensa alteração para sericita, principalmente quando esses possuem dimensões maiores.

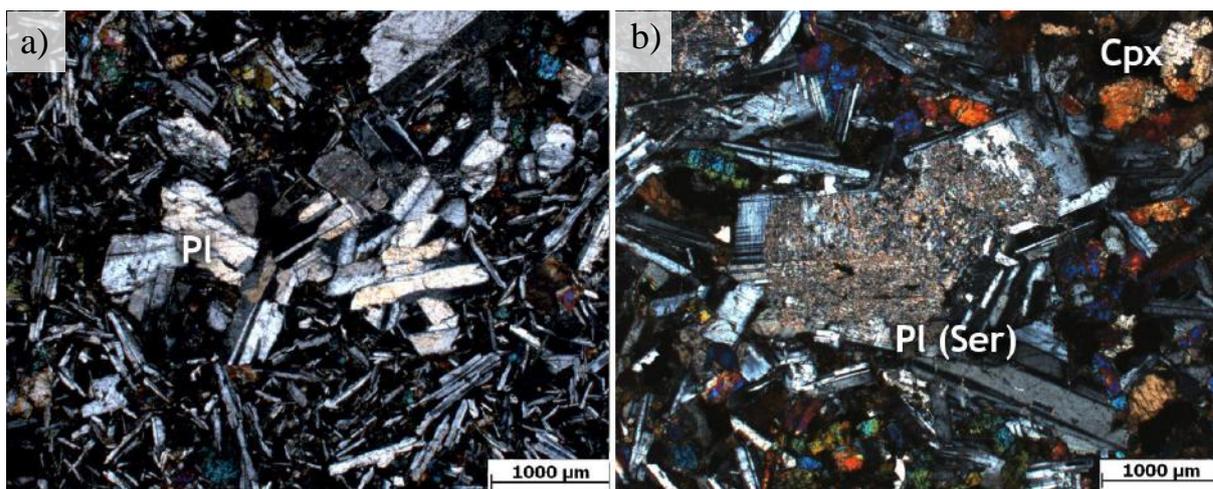


Figura 31. Fotomicrografias em nicóis cruzados de amostras de diabásio com textura glomeroporfírica marcadas por fenocristais de plagioclásio (Pl) com diferentes graus de alteração. a) Amostra do ponto AC-EG-12-A com fenocristais de plagioclásio bem preservados e b) amostra do ponto AC-EG-21 com extensa alteração para sericita (Ser).

O clinopiroxênio, classificado como augita, representa a fase máfica do diabásio e compõem tanto a matriz quanto a assembleia de fenocristais. Nas amostras com textura porfírica e glomeroporfírica o tamanho dos cristais chega até 0,5 mm na matriz e até 4 mm como fenocristal, em amostras com textura equigranular pode chegar até 2 mm. O clinopiroxênio apresenta poucos cristais com clivagem em 90° graus bem marcada, possuem hábito predominantemente granular anédrico podendo ocorrer também de modo intersticial, limitada por cristais tabulares de plagioclásio. Em luz natural apresenta-se incolor ou com pleocroísmo que varia do incolor ao verde claro.

A olivina ocorre em amostras com textura equigranular, completamente alteradas para iddingsita (Figura 32). Os cristais possuem até 1 mm de tamanho, pleocroísmo marrom alaranjado e apresentam-se anédricos devido à alteração.

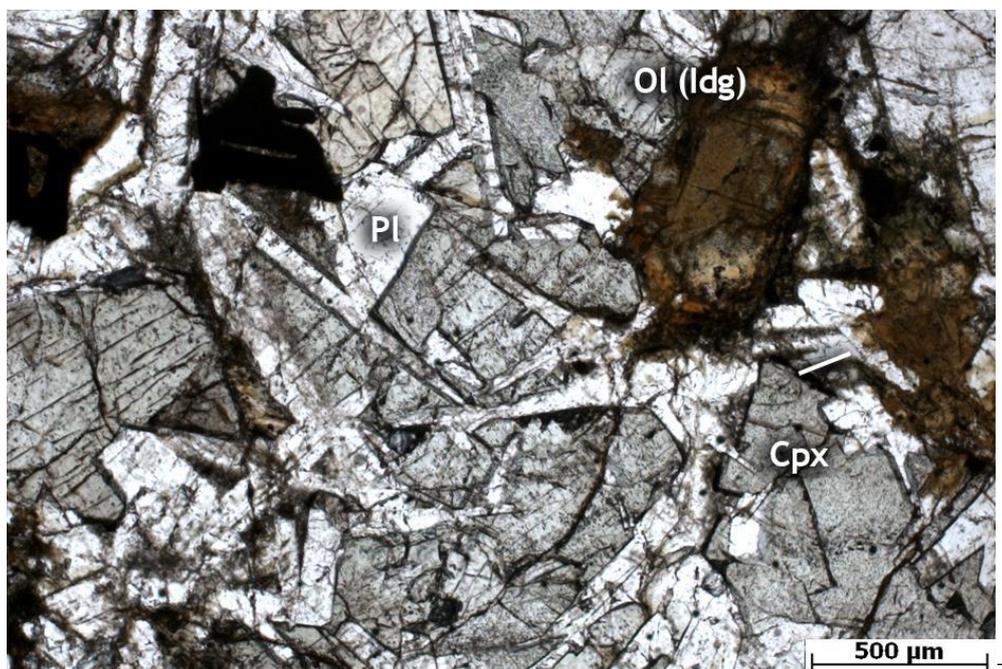


Figura 32. Fotomicrografia de diabásio com textura equigranular, composto por clinopiroxênio (Cpx), plagioclásio (Pl) e olivina (Ol) alterada para iddingsita (Idg), ponto AC-EG-26.

Os minerais acessórios são representados pela apatita e por minerais opacos, esses foram identificados como hematita e pirita pela cor de reflexão branca e amarela em microscopia de luz refletida.

### 4.3 Magmatismo alcalino

#### 4.3.1 Lamprófiro

Foram confeccionadas lâminas de todas as cinco intrusões de lamprófiro cartografadas na área de estudo, essas se apresentam similares em campo, entretanto, em seção delgada são diferentes entre si. Assim, foram caracterizadas três variedades distintas de lamprófios, todas baseadas na semelhança entre a assembleia mineralógica dos fenocristais. Todas as amostras são melanocráticas com textura porfírica e glomeroporfírica, sendo a relação entre as variedades, definidas como V1, V2 e V3, e a mineralogia dos fenocristais resumida na tabela 2.

Tabela 2. Relação entre as variedades de lamprófiro descritas (V1, V2 e V3) e a assembleia de fenocristais referente à cada uma. Ol – olivina; Bt – biotita; Cpx – clinopiroxênio; Anf – anfíbólio.

	Ol	Bt	Cpx	Anf
V1	x	x	x	x
V2	x			
V3		x	x	

#### 4.3.1.1 Variedade 1

A primeira variedade compreende as amostras AC-EG-01 e AC-DQ-12, situadas na Praia Grande e Praia Brava, respectivamente. As texturas são porfíricas e glomeroporfíricas,

marcadas por fenocristais de olivina, clinopiroxênio zonado, kaersutita e biotita com matriz composta por vidro, biotita, olivina, kaersutita e clinopiroxênio. Os minerais acessórios são representados por titanita enquanto calcita e serpentina constituem os minerais secundários, sendo que os minerais opacos podem ser acessórios ou secundários.

A olivina ocorre como fenocristais euédricos de até 4 mm de tamanho e hábito hexagonal ou, subordinadamente, anédricos que podem ser pseudo-hexagonais ou alongados. Nestes cristais é comum a ocorrência de fraturas, feições de corrosão como embaçamento e bordas arredondadas bem como alteração hidrotermal para serpentina. Esta alteração, entretanto, ocorre de forma irregular, podendo alterar completamente alguns cristais e preservar por completo outros, como observado na fotomicrografia da figura 33.

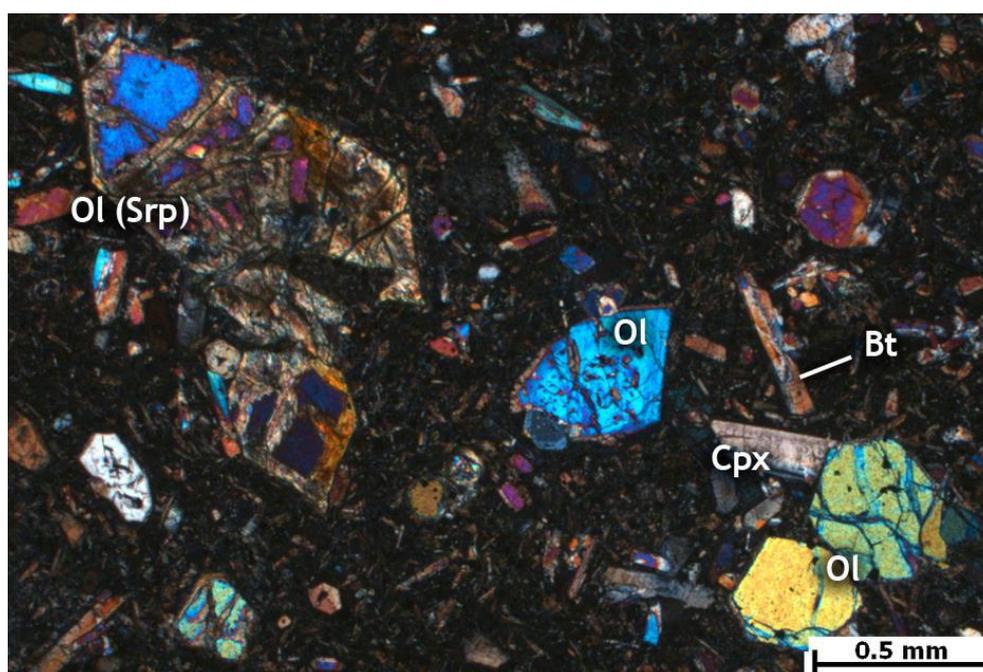


Figura 33. Fotomicrografia em nicóis cruzados de lamprófiro da *variedade 1* com textura glomeroporfírica marcada por fenocristais de biotita (Bt), clinopiroxênio (Cpx) e olivina (Ol) com hábito hexagonal e pseudo-hexagonal com alteração hidrotermal para serpentina (Srp) e embaçamento. Amostra do ponto AC-EG-01 localizado na Praia Grande.

O clinopiroxênio é representado por cristais anédricos e subédricos sob a forma de ripas alongadas na matriz e cristais euédricos quando sob a forma de fenocristais. Os fenocristais apresentam até 1,5 mm de tamanho sendo o número de faces variável e os hábitos mais recorrentes octogonal e pseudo-hexagonal. Nesta variedade os fenocristais de clinopiroxênio apresentam zoneamento composicional enquanto os cristais menores que compõe a matriz são homogêneos. Os núcleos dos cristais zonados apresentam pleocroísmo verde e contornos arredondados com feição de corrosão, as bordas são incolores e possuem faces retas caracterizando cristais euédricos (Figura 34).

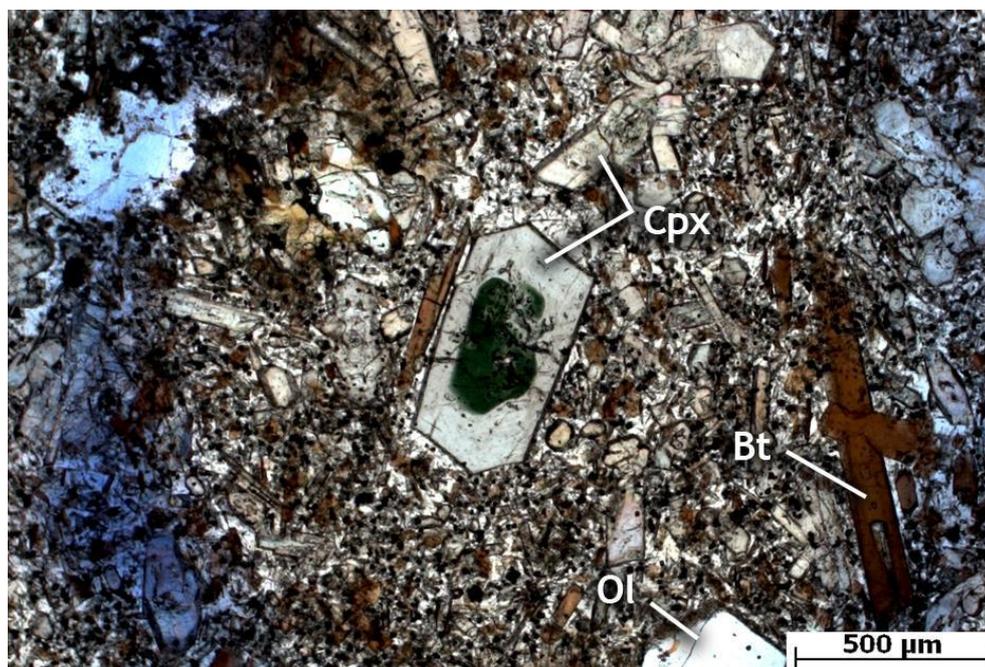


Figura 34. Fotomicrografia em nicóis paralelos de lamprófiro da *variedade 1* com fenocristal de clinopiroxênio zonado (Cpx), apresentando núcleo arredondado com pleocroísmo verde e borda com faces retas e sem pleocroísmo. Cristais de clinopiroxênio não zonado (Cpx), olivina (Ol) e biotita (Bt) também compõe a amostra (ponto AC-EG-01).

Kaersutita e biotita compõe a matriz e a assembleia de fenocristais de menor proporção, com até 1 mm de tamanho. A kaersutita é caracterizada por cristais euédricos de hábito hexagonal, pleocroísmo castanho escuro e é comumente observada em seções basais com clivagem  $120^{\circ}/60^{\circ}$  bem marcada. Grande parte destes cristais apresenta inclusões menores que 0,1 mm cuja mineralogia não é distinguível em microscópio petrográfico. A biotita, por sua vez, ocorre sob a forma de ripas alongadas subédricas, tanto na matriz quanto como fenocristal e distingue-se pela presença de extinção *birdseye* e pleocroísmo castanho escuro.

A titanita ocorre sob a forma de cristais euédricos espalhados por toda a amostra, da mesma forma ocorrem os minerais opacos, com a diferença que esses podem ser secundários quando ocorrem próximos às vesículas ou a cristais de olivina. A calcita é caracterizada por cristais euédricos que ocorrem estritamente como mineral secundário, preenchendo amígdalas e vesículas.

#### 4.3.1.2 *Variedade 2*

Duas outras amostras localizadas na Praia Grande, ponto AC-EG-61 e AC-EG-62, representam a *variedade 2* de lamprófiro, caracterizada por fenocristais de olivina. A matriz é composta por vidro, clinopiroxênio, biotita e esparsos cristais de pirita, de forma que calcita e serpentina são os minerais secundários.

Os fenocristais de olivina são anédricos e subédricos com hábito pseudo-hexagonal e até 1,6 mm de tamanho, podendo ocorrer isolados ou em agregados de cristais. Semelhante à *variedade 1* dos lamprófiros, há a ocorrência de cristais que apresentam-se bem preservados e outros muito alterados na mesma amostra, como observado na figura 35a. Já as feições de corrosão, fraturamento e alteração hidrotermal para serpentina são mais proeminentes nestes cristais (Figuras 35a e 35b) do que nos cristais de olivina da *variedade 1*.

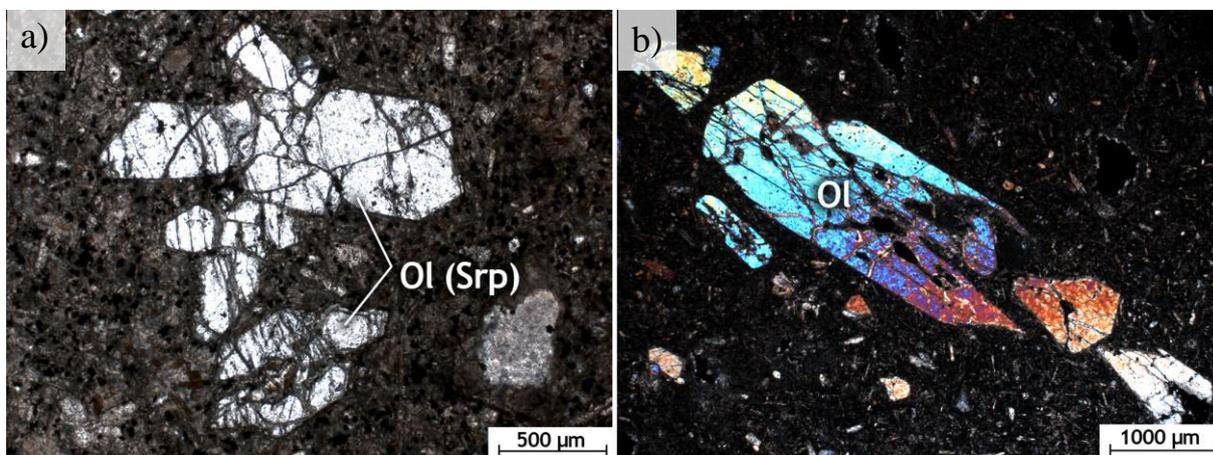


Figura 35. Fotomicrografias de lâminas da segunda variedade de lamprófiros, a) textura glomeroporfirítica marcada por fenocristais hexagonais e pseudo-hexagonais de olivina (Ol) com alteração para serpentina (Srp) e b) cristal de olivina em nicóis cruzados com feições de corrosão. Ponto AC-EG-61 e AC-EG-62, respectivamente.

O clinopiroxênio ocorre sob a forma de cristais anédricos e subédricos de hábito granular ou pseudo-hexagonal, com até 1 mm de tamanho. Diferentemente da *variedade 1*, não compõe a assembleia de fenocristais e apresentam-se homogêneos sem zoneamento. Em nicóis paralelos apresentam-se incolores com pleocroísmo ausente.

Nestas amostras a biotita é restrita à matriz, com hábito alongado, e ocorre em conjunto com o clinopiroxênio e minerais opacos, dentre eles, a pirita, identificada pela cor de reflexão amarelo claro. A calcita ocorre de forma secundária, preenchendo amígdalas e, menos comumente, bordas de vesículas.

#### 4.3.1.3 Variedade 3

A *variedade 3* possui somente uma intrusão, localizada na Praia Grande, que apresenta fenocristais de biotita e raros fenocristais de clinopiroxênio zonado. A matriz possui cristais de biotita, clinopiroxênio, hematita e pirita.

A biotita ocorre como fenocristais subédricos e euédricos de hábito hexagonal e com até 1 cm de dimensão, já na matriz ocorrem sob a forma de ripas alongadas de até 0,2 mm. Em nicóis paralelos possuem coloração castanha com pleocroísmo que varia do castanho claro ao castanho escuro.

Os cristais de clinopiroxênio apresentam zoneamento contínuo, diferente daqueles das outras variedades, que são homogêneos ou com diferença de núcleo e borda marcada por feições de corrosão. Nesta variedade ocorrem na matriz sob a forma de cristais tabulares alongados e como fenocristais subédricos com hábito pseudo-hexagonal e bordas com feição de corrosão, como na figura 36.

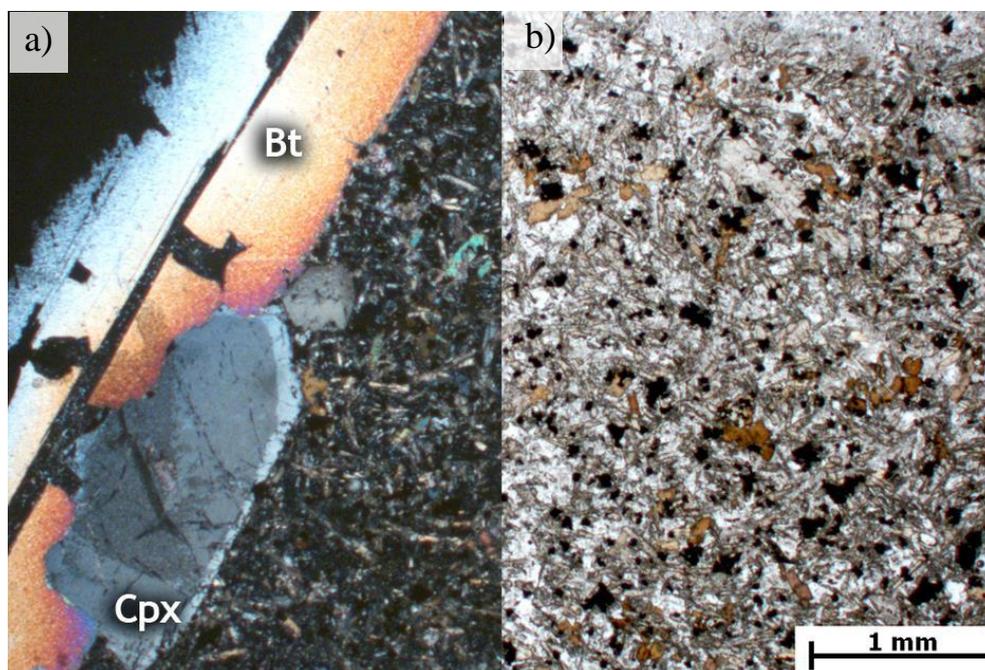


Figura 36. Fotomicrografia de seção delgada da *variedade 3* de lamprófiro, apresentando fenocristal de biotita (Bt) e clinopiroxênio zonado (Cpx), em a) nicóis cruzados e b) nicóis paralelos.

#### 4.3.2 Traquito

O traquito é uma rocha composta essencialmente por álcali-feldspato e plagioclásio, que ocorrem tanto na matriz quanto como fenocristal. A granulação é fina enquanto a textura varia entre afanítica porfírica, glomeroporfírica, equigranular e traquítica. Cristais de apatita e zircão compõe os minerais acessórios dessa rocha.

O álcali-feldspato e plagioclásio ocorrem como cristais tabulares alongados ou curtos com até 0,5 mm de dimensão na matriz e até 4 mm como fenocristal. Estes fenocristais podem ocorrer isolados, ou, mais comumente, em aglomerados, como apresentado na figura 37. Todas as amostras apresentam intensa alteração da superfície dos feldspatos para sericita, que não se diferencia entre matriz e fenocristais. A alteração para óxido de ferro também é observada em lâmina petrográfica. O óxido de ferro é observado preenchendo fraturas e em campo, confere uma coloração avermelhada às intrusões.

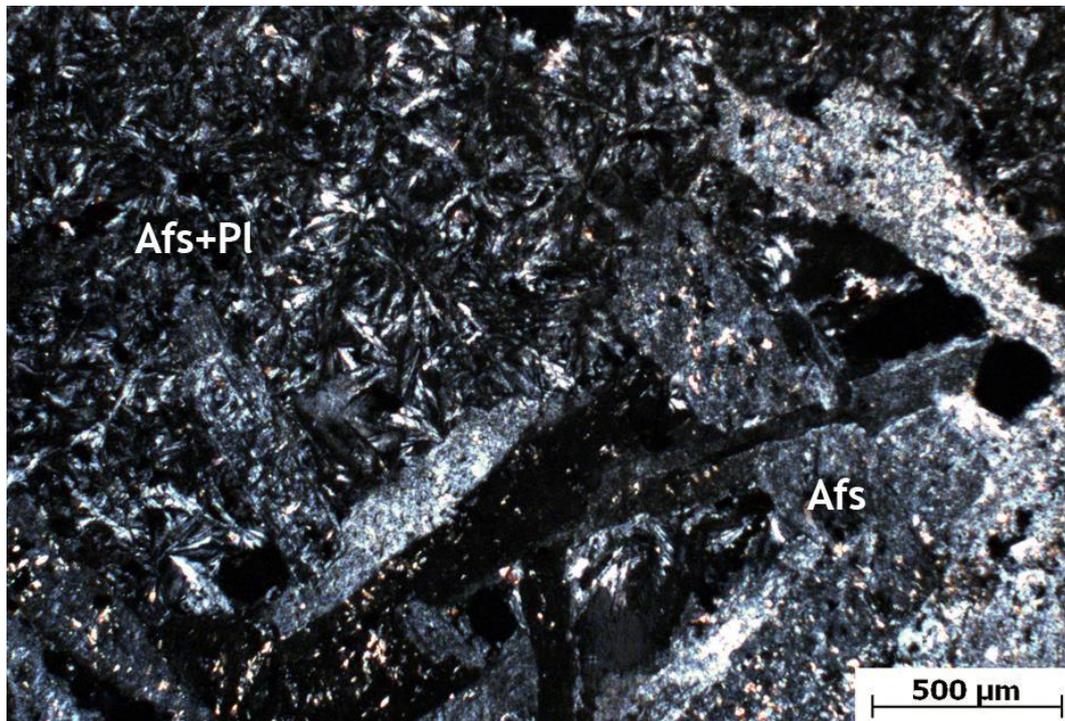


Figura 37. Fotomicrografia em nicóis cruzados de traquito com textura glomeroporfírica marcada por fenocristais de álcali-feldspato (Afs) e matriz de álcali-feldspato e plagioclásio (Pl). Tanto a matriz quanto os fenocristais estão intensamente alterados para sericita. Amostra do ponto AC-EG-31.

Apesar das diferentes texturas estas rochas são semelhantes em termos mineralógicos, com exceção da amostra do ponto AC-EG-12-C. Essa apresenta amígdalas que variam de 0,4 mm até 2 cm preenchidas por minerais secundários, caracterizados como epidoto, clorita e anfibólio (Figura 38).

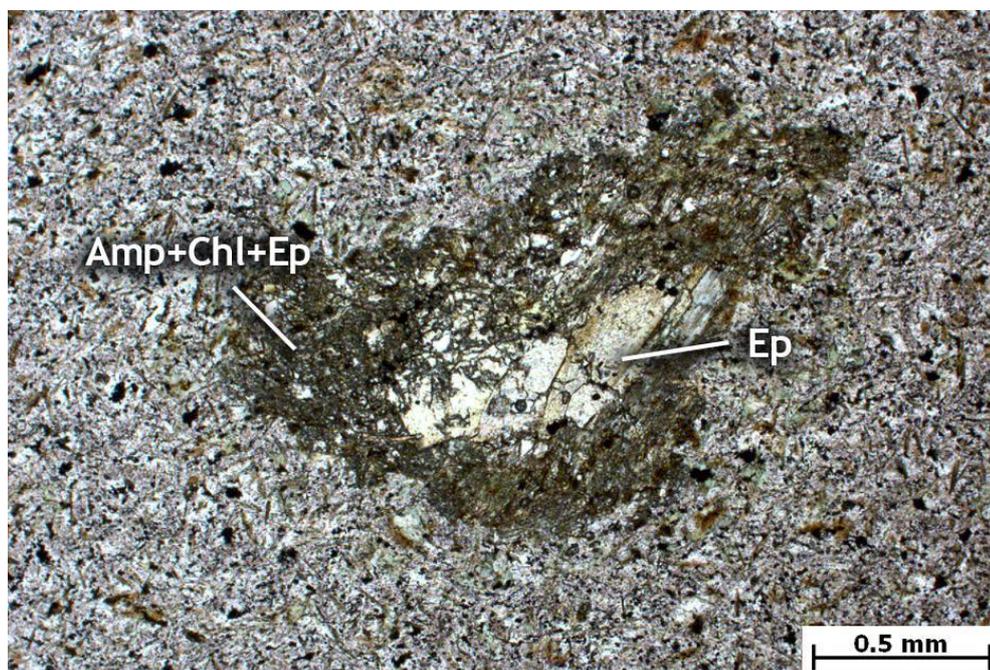


Figura 38. Fotomicrografia em nicóis paralelos de traquito apresentando amígdala de aproximadamente 1,5 cm de tamanho preenchida por cristais de epidoto (Ep) e agregados de clorita (Chl) e anfibólio (Amp), ponto AC-EG-12-C.

### 4.3.3 Fonolito

O fonolito possui três ocorrências na área de estudo, é uma rocha de textura afanítica porfirítica ou glomeroporfirítica, marcada por fenocristais principalmente de álcali-feldspato e nefelina (Figura 39), com a ocorrência subordinada de fenocristais de aegirina-augita, augita, biotita e olivina. A matriz é composta por álcali-feldspato, nefelina, clinopiroxênio e vidro enquanto titanita, apatita, clorita e minerais opacos compõem os minerais acessórios.

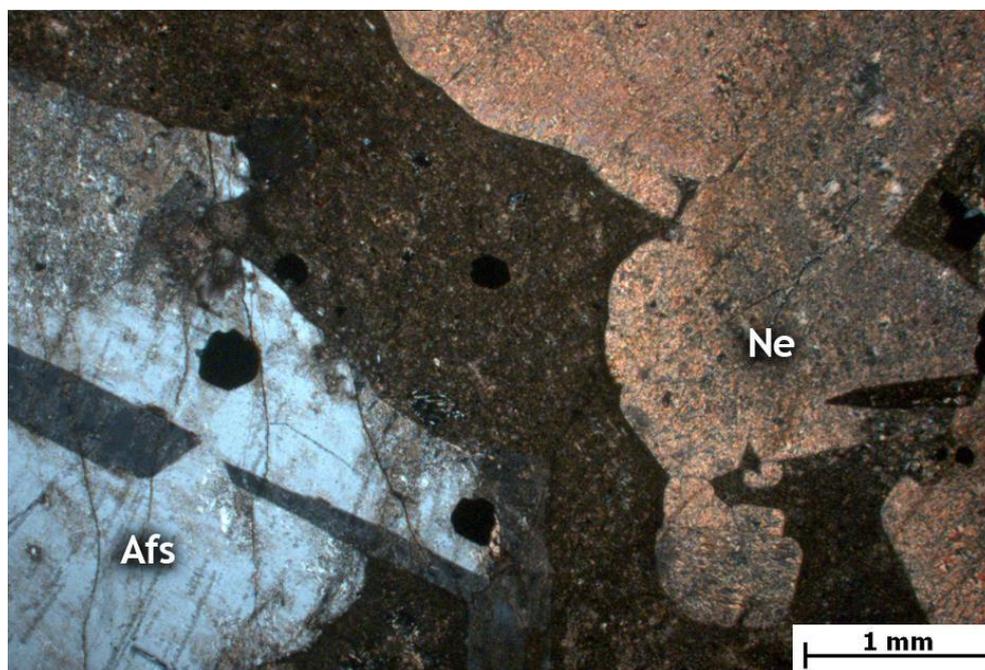


Figura 39. Fotomicrografia em nicóis cruzados de fonolito com textura afanítica porfirítica marcada por fenocristais de álcali-feldspato (Afs) e nefelina (Ne). Os fenocristais apresentam alteração para sericita, parcial no álcali-feldspato e completa na nefelina, e feições de corrosão como embaçamento e bordas arredondadas (ponto AC-EG-11).

O álcali-feldspato ocorre na matriz e sob a forma de fenocristal, com hábito tabular alongado e cristais anédricos que podem ter até 2,5 cm de tamanho. Alteração parcial para sericita, fraturamento e feições de corrosão como embaçamento e arredondamento das bordas são presentes em todos os fenocristais.

A nefelina ocorre comumente em aglomerados e apresenta cristais de até 1 mm com hábito hexagonal ou em prismas curtos quadrangulares. Feições de corrosão como embaçamento e bordas arredondadas também estão presentes, assim como sericitização, que altera completamente estes cristais.

A aegirina-augita, augita, biotita e olivina ocorrem como fenocristais de até 1 mm de tamanho e em menores quantidades do que o álcali-feldspato e nefelina. A aegirina-augita é caracterizada por clivagem em 90° bem marcada e por uma coloração verde claro em luz natural. O hábito é tabular alongado ou prismático, podendo ocorrer de forma isolada ou em

aglomerados, como observado na figura 40. Os cristais de augita são incolores em luz natural e podem apresentar-se homogêneos ou com zoneamento composicional. Já a biotita e olivina, ocorrem como fenocristais isolados, sendo esta última intensamente alterada para serpentina e iddingsita.

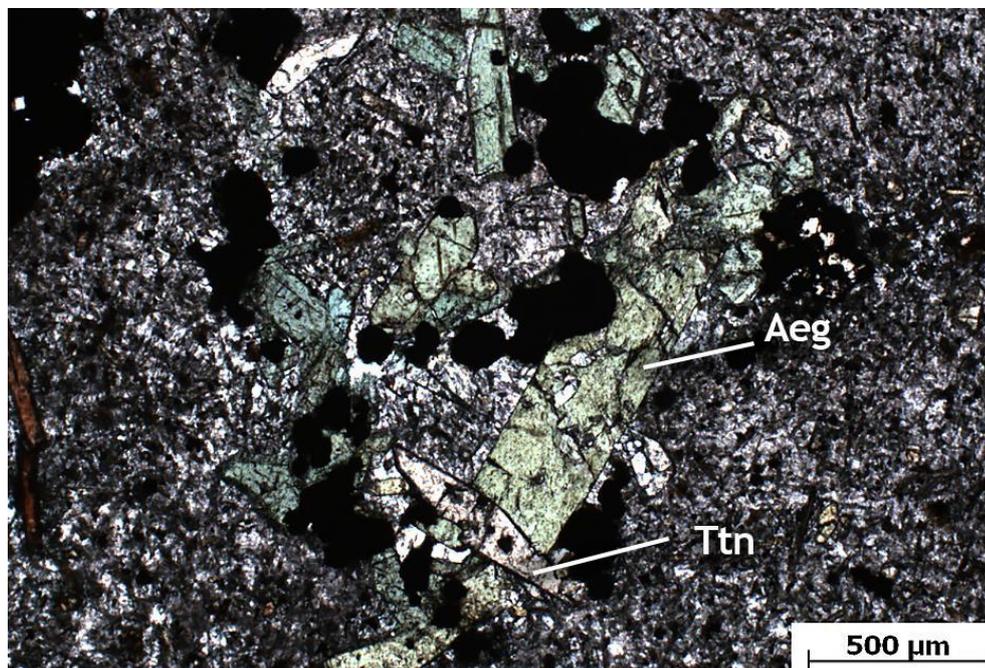


Figura 40. Fotomicrografia de fonolito apresentando aglomerado de cristais de aegirina-augita (Aeg), titanita (Ttn) e minerais opacos (ponto AC-EG-42).

## 5 MEV E ESPECTROSCOPIA RAMAN

### 5.1 Introdução

As análises de espectroscopia Raman e microscopia eletrônica de varredura (MEV) foram utilizadas para a obtenção de uma análise química qualitativa dos minerais, bem como para a classificação dos minerais quando a microscopia ótica não foi suficiente para tal. As amostras foram polidas manualmente e analisadas a baixo vácuo pois não foram metalizadas. Foi realizada a análise de uma amostra de lamprófiro, já que essa apresenta uma maior diversidade mineralógica. A análise de um número maior de amostras não foi possível devido à perda das lâminas no incêndio do Museu Nacional em 2 de setembro de 2018.

### 5.2 Lamprófiro

Os lamprófiros foram classificados em três variedades petrográficas distintas de acordo com a assembleia de fenocristais de cada amostra. As análises de MEV e Raman foram realizadas somente na amostra AC-EG-01, pertencente à *variedade 1* da petrografia, conforme a tabela 3. Nesta amostra foram analisados cristais de anfibólio e suas inclusões, cristais de clinopiroxênio zonados e um cristal isotrópico não identificado na petrografia.

Tabela 3. Análises químicas em MEV da amostra AC-EG-01, lamprófiro da variedade petrográfica 1.

Amostra AC-EG-01	Inclusão no anfibólio	Anfibólio	Piroxênio borda	Piroxênio núcleo	Cristal isotrópico vesícula
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24,94	14,80	8,69	8,13	4,16
Na <sub>2</sub> O	15,17	3,08	1,51	2,16	1,16
CaO	1,20	12,23	23,63	22,10	29,15
K <sub>2</sub> O	0,44	1,84	-	-	-
FeO	1,17	9,32	7,11	10,41	22,38
MgO	-	13,40	11,92	9,13	1,56
MnO	-	-	-	-	0,65
SiO <sub>2</sub>	57,08	40,04	44,30	46,16	31,85
TiO <sub>2</sub>	-	5,29	2,84	1,90	9,09
Soma	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Mineral	Analcima	Kaersutita/ Pargasita	Augita	Augita	Andradita/ Schorlomita

O anfibólio desta amostra é caracterizado por cristais hexagonais euédricos de coloração marrom escura e inclusões incolores (Figura 41) que não puderam ser identificadas na petrografia devido à dimensão. A análise de espectroscopia Raman caracterizou os cristais de anfibólio como pargasita, com picos bem definidos em 120, 145, 165, 240 e 660 cm<sup>-1</sup>, conforme a figura 42. Já a análise em MEV apontou para uma composição mais próxima à da kaersutita, anfibólio rico em titânio, com 5,29% de TiO<sub>2</sub>, 3,08% de Na<sub>2</sub>O e 9,32% de FeO. Desta forma, o mineral pode ser classificado como um intermediário entre as duas composições, com uma afinidade maior para kaersutita devido ao conteúdo de titânio.



Figura 41. Fotomicrografia da amostra AC-EG-01 com os cristais analisados em espectroscopia Raman e MEV. O anfibólio (Amp) foi classificado como kaersutita, as inclusões como analcima (Anl) e os cristais de coloração marrom escura da vesícula foram caracterizados como granada titanífera (Grt).

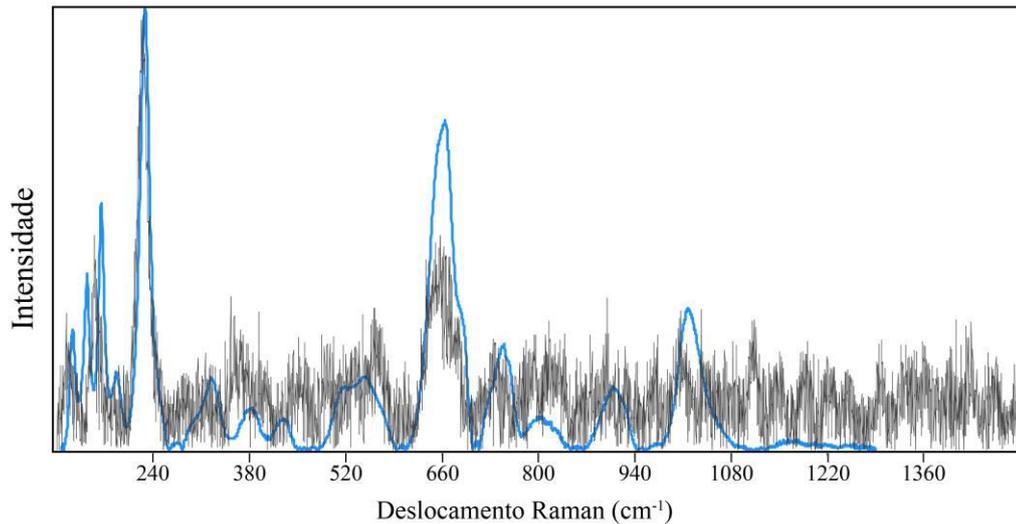


Figura 42. Espectro Raman de um cristal de anfibólio da amostra AC-EG-01. A curva em preto representa o cristal analisado, enquanto a curva em azul uma análise de pargasita do database RRUFF (Fonte da análise: *Gemological Institute of America*).

As inclusões também foram analisadas em Raman e MEV, sendo essas presentes na maioria dos cristais de anfibólio. Ambos os métodos apontaram para a classificação desses cristais como analcima, um mineral do grupo das zeólitas.

Na petrografia foi observada a ocorrência de um único cristal não identificado, isotrópico e de coloração marrom preenchendo uma vesícula, apresentado na figura 41 e 43. Em MEV foi gerada uma imagem de elétrons retroespalhados (Figura 43) e as análises por EDS indicaram alta concentração de FeO e CaO enquanto a concentração de TiO<sub>2</sub> é de cerca de 9%. Esta composição é similar à da andradita, granada rica em ferro e cálcio, entretanto a concentração de TiO<sub>2</sub> aproxima-se à da schorlomita, granada rica em titânio típica de rochas alcalinas. A espectroscopia Raman classificou o cristal como schorlomita, portanto provavelmente trata-se de um membro intermediário da solução sólida andradita-schorlomita.

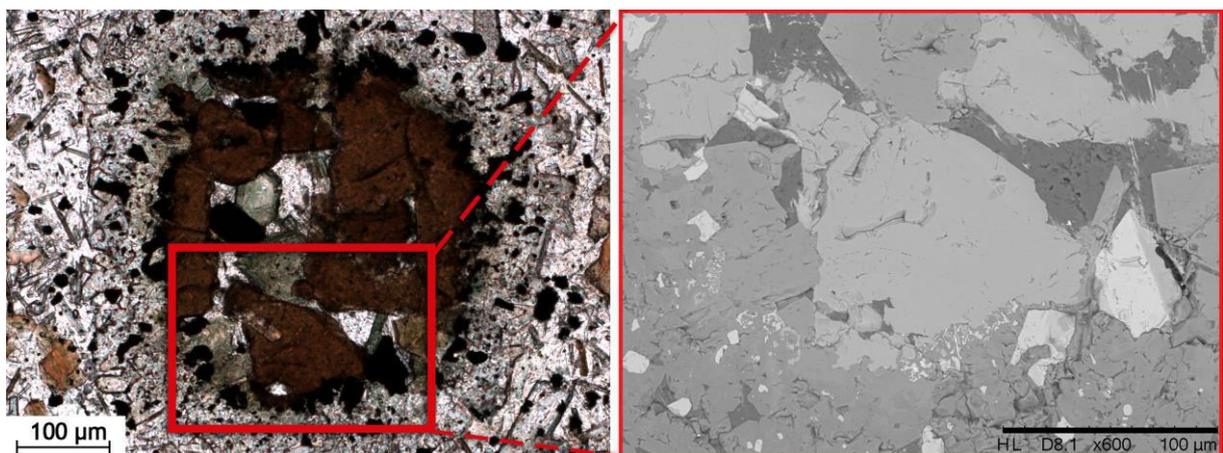


Figura 43. Fotomicrografia de cristais de granada preenchendo vesícula e imagem de elétrons retroespalhados gerada em MEV. O cristal foi classificado como membro intermediário da solução sólida andradita-schorlomita.

Os fenocristais de clinopiroxênio são zonados, esta feição pode ser observada tanto na microscopia ótica, pela diferença de coloração em nicóis paralelos, quanto na imagem em MEV (Figura 44), pelas diferentes tonalidades de cinza. O núcleo do cristal apresenta 9,13% de MgO em comparação com 11,92% da borda enquanto o FeO varia de 10,41% do núcleo para 7,11% na borda. Assim, pode-se observar uma relação inversa entre o conteúdo de FeO e MgO, sendo o núcleo mais rico em ferro e a borda em magnésio. Ds figuras 45a e 45b comparam o zoneamento do cristal em lâmina petrográfica e o mapa composicional gerado em MEV.

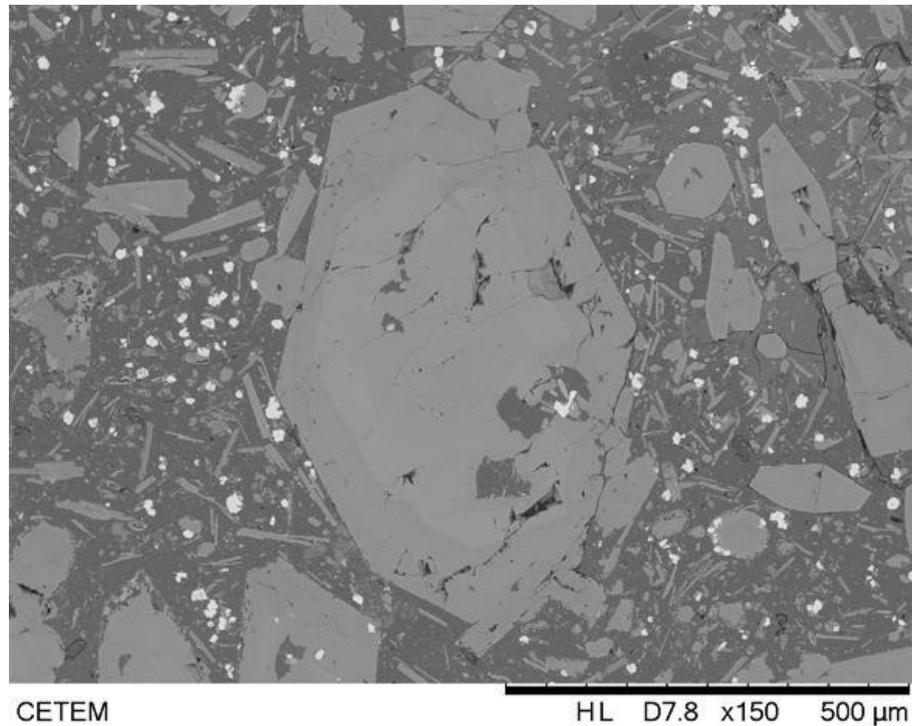


Figura 44. Imagem de microscopia eletrônica de varredura (MEV) de um cristal de clinopiroxênio com zoneamento composicional, evidenciando tons de cinza diferentes para o núcleo e borda.

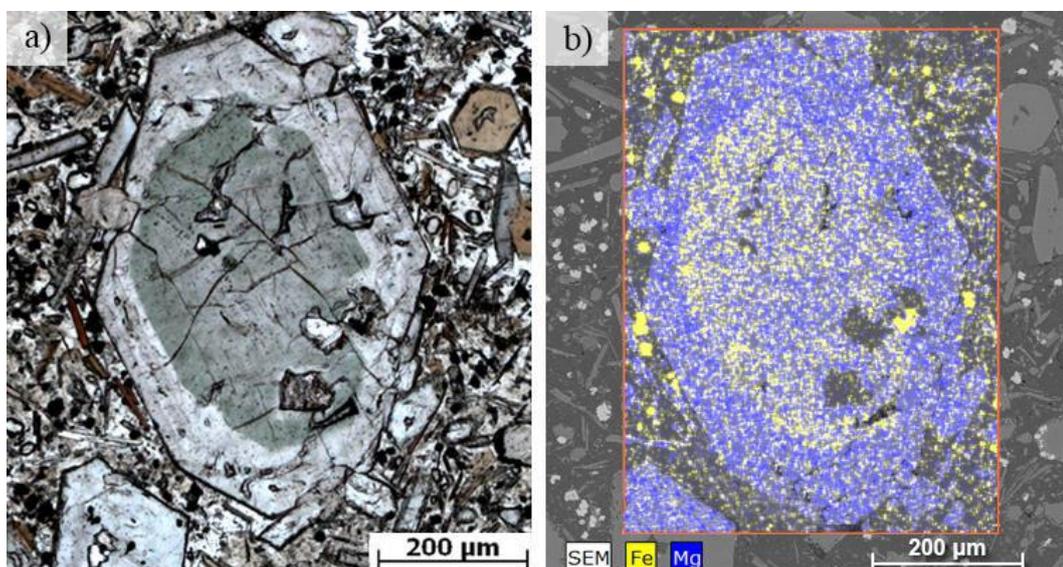


Figura 45. a) Fotomicrografia de cristal de clinopiroxênio zonado em nicóis paralelos, apresentando núcleo corroído de cor verde e bordas euédricas incolores. b) mapa composicional do mesmo cristal, onde pode-se observar que o núcleo é mais rico em ferro, representado pela cor amarela, enquanto a borda é mais rica em magnésio, representado pela cor azul.

## 6 GEOQUÍMICA

### 6.1 Introdução

Dentre as amostras coletadas neste trabalho foram selecionadas um total de 17 para análise geoquímica. Desse total, 12 são amostras de diabásio e cinco de lamprófiro, analisados para elementos maiores (apresentados em % peso) e traço (em ppm), sendo os dados apresentados nas tabelas do Anexo IV. Optou-se pela análise somente das unidades máficas devido à maior variedade textural e mineralógica, com amostras com descrição petrográfica completa e menores indícios de alteração intempérica. A tabela 4 apresenta a relação de amostras selecionadas.

Tabela 4. Listagem das amostras selecionadas para análise geoquímica, com seus respectivos códigos, litologia, longitude, latitude e direção de *strike*.

	Código	Longitude	Latitude	<i>Strike</i>
Diabásio	AC-EG-02	-42,03179	-22,97525	NE-SW
	AC-EG-12-A	-42,01405	-22,99693	NE-SW
	AC-EG-14-B	-42,01580	-22,99412	NE-SW
	AC-EG-21	-42,03486	-22,97899	NE-SW
	AC-EG-26	-42,03128	-22,98081	NE-SW
	AC-EG-49	-42,02429	-22,98040	-
	AC-EG-52	-42,01491	-22,98987	NE-SW
	AC-EG-55	-42,02594	-22,97942	NE-SW
	AC-EG-56	-42,03139	-22,97616	-
	AC-EG-58-A	-42,03176	-22,97504	NE-SW
	AC-EG-60	-42,03220	-22,97630	NNW-SSE
	AC-DQ-20	-42,03481	-22,97648	-
Lamprófiro	AC-EG-01-A	-42,03170	-22,97454	NW-SE
	AC-EG-05-B	-42,03175	-22,97492	WNW-ESE
	AC-EG-61	-42,04203	-22,97670	NE-SW
	AC-EG-62	-42,03472	-22,97685	NE-SW
	AC-DQ-12	-42,02113	-22,98258	NE-SW

Para o estudo da geoquímica dos diques de diabásio foram compiladas outras 59 análises químicas da literatura, totalizando 71 amostras, apresentadas no Anexo V.

A norma CIPW foi calculada utilizando o *software* Newpet, que permite o ajuste da proporção de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e FeO durante o cálculo da norma. Para as amostras que não possuem análise de FeO (somente de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) foi utilizada a razão de FeO/(FeO+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) = 0,85 (Middlemost, 1989) para o recálculo do ferro. Já para as amostras com FeO e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> medidos não foi utilizado o recálculo. O resultado do cálculo da norma está apresentado no Anexo VI.

## 6.2 Diabásio

Do total de 71 análises geoquímicas de diabásio, 12 compreendem a área do Pontal do Atalaia e são resultado do presente trabalho, 32 abrangem a região da cidade de Arraial do Cabo (Bennio *et al.*, 2003) e 27 de toda Região dos Lagos (Dutra, 2006).

Uma vez que as amostras não apresentam variação petrográfica foram definidos três grupos geoquímicos, plotados no diagrama TAS observado na figura 46, baseados nos teores de SiO<sub>2</sub>, MgO, TiO<sub>2</sub> e Zr. A seleção dos óxidos a serem utilizados para a separação dos grupos está relacionada ao caráter mais ou menos evoluído de cada amostra, já que os óxidos de sílica e magnésio estão relacionados com o grau de diferenciação do litotipo, enquanto o titânio pode estar relacionado com assimilação crustal. O zircônio foi utilizado como auxiliar, por se tratar de um elemento imóvel, dificilmente removido por processos posteriores à cristalização.

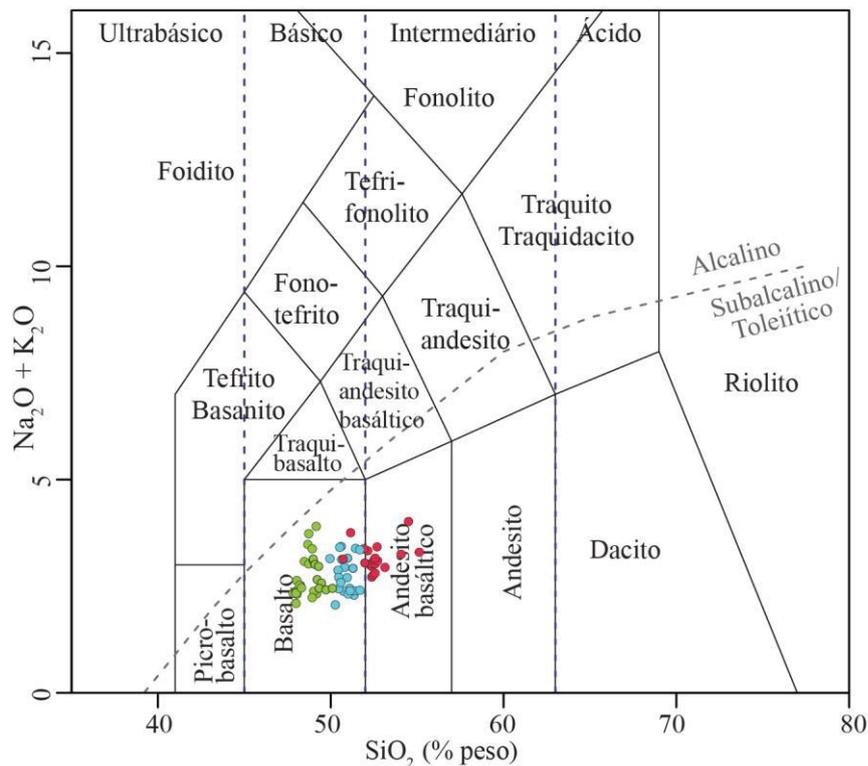


Figura 46. Diagrama TAS (SiO<sub>2</sub> versus Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) de Le Bas (1986) para os grupos A (●), B (●) e C (●).

Os valores mínimos, máximos e a média de cada grupo são apresentados na tabela 5, juntamente com a simbologia utilizada nos gráficos apresentados neste capítulo. O grupo geoquímico A (●) possui média de 47,85% de SiO<sub>2</sub>, 7,17% de MgO, 1,26% de TiO<sub>2</sub> e 79 ppm de Zr. O grupo B (●) apresenta médias de 50,56%, 6,48%, 1,31% e 90 ppm, enquanto o grupo C (●) possui 52,44%, 5,32%, 1,61% e 129 ppm, de SiO<sub>2</sub>, MgO, TiO<sub>2</sub> e Zr, respectivamente.

Tabela 5. Simbologia (Smb), valores mínimos (Min), máximos (Max) e média (Md) de SiO<sub>2</sub>, MgO, TiO<sub>2</sub> (% peso) e Zr (ppm) para os grupos geoquímicos (Gr) A, B e C.

Gr	Smb	SiO <sub>2</sub>			MgO			TiO <sub>2</sub>			Zr		
		Min	Max	Md	Min	Max	Md	Min	Max	Md	Min	Max	Md
A	●	46,94	49,5	47,85	5,91	8,13	7,17	0,9	1,89	1,26	50	138	79
B	●	49,03	51,64	50,56	5,43	7,47	6,48	0,89	1,90	1,31	66	127	90
C	●	49,30	54,80	52,44	4,04	6,76	5,32	1,10	1,95	1,61	93	172	129

A classificação geoquímica das amostras foi feita a partir do diagrama TAS, observado na figura 46. O grupo A e B são compostos exclusivamente por amostras classificadas como basaltos enquanto o grupo C é classificado predominantemente como andesito basáltico, com a exceção de duas amostras que são basaltos.

O diagrama Zr/TiO<sub>2</sub> versus SiO<sub>2</sub> de Winchester & Floyd (1977) (Figura 47a) apresenta classificações geoquímicas semelhantes e em conjunto com o diagrama AFM (Figura 47b) confirma que as amostras são subalcalinas. Da mesma forma, a norma CIPW (Anexo VI) mostra a presença de quartzo e hiperstênio normativo ou olivina e hiperstênio normativo, indicando, respectivamente, quartzo toleíitos e olivina toleíitos, segundo a classificação de Thompson (1984). Duas amostras são exceção, com 0,58 e 0,22% de nefelina normativa, o que as classificaria como basaltos alcalinos.

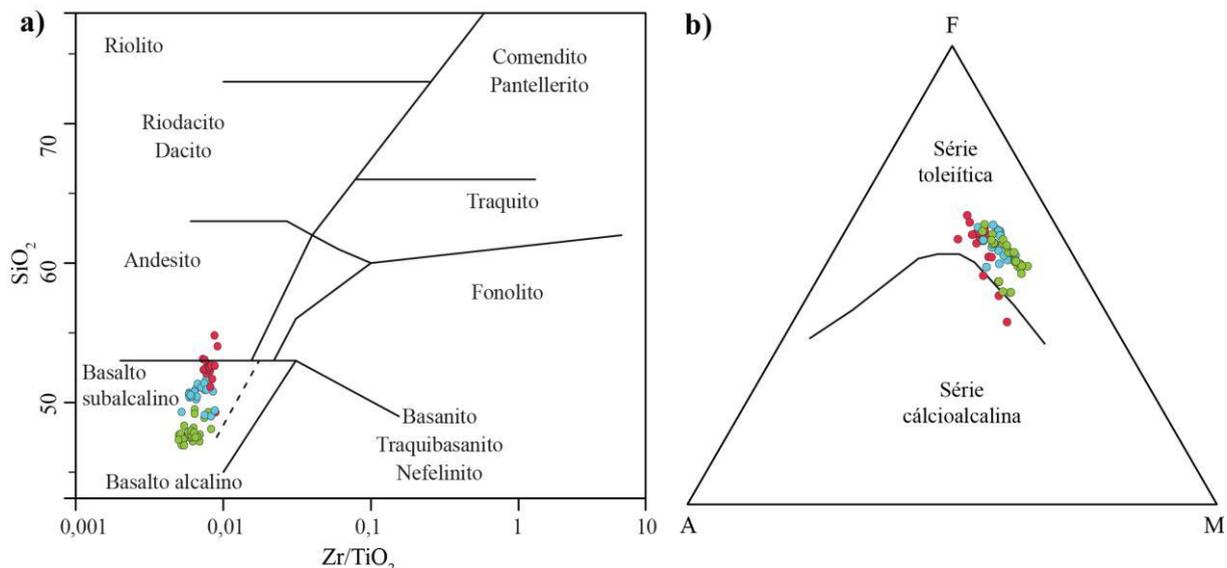


Figura 47. Amostras dos grupos A (●), B (●) e C (●): a) Diagrama Zr/TiO<sub>2</sub> versus SiO<sub>2</sub> (% peso) de Winchester & Floyd (1977) e b) diagrama AFM de Irvine e Baragar (1971), A = Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O, F = Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>t</sup>, M = MgO (em % peso).

Os critérios de Bellieni *et al.* (1994) foram utilizados como base para a classificação em relação ao conteúdo de titânio. Os autores definem que uma suíte de baixo-TiO<sub>2</sub> é marcada por teores do óxido menores do que 2% em peso, enquanto que uma suíte de alto TiO<sub>2</sub> apresenta mais do que 2%. Todas as amostras apresentam teores de TiO<sub>2</sub> menores do que 2%, sendo

classificadas como de baixo-TiO<sub>2</sub>, conforme o gráfico da figura 48. Os grupos geoquímicos A, B e C apresentam, respectivamente, médias de 1,26%, 1,31% e 1,61% de TiO<sub>2</sub>, apresentando um aumento de titânio.

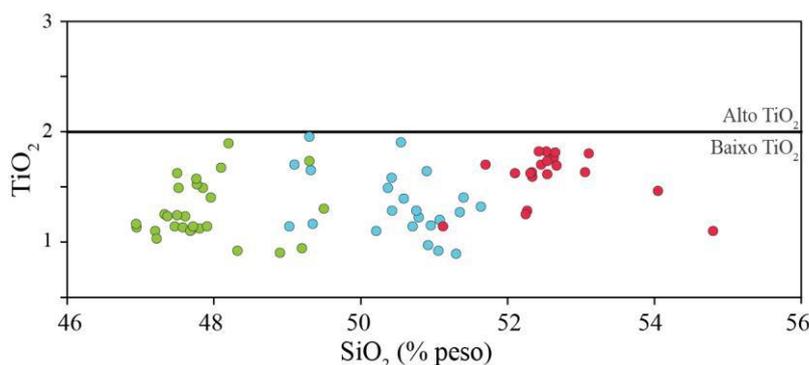


Figura 48. Amostras dos grupos A (●), B (●) e C (●) em diagrama de variação SiO<sub>2</sub> versus TiO<sub>2</sub> (% peso), segundo critérios de Bellieni *et al.* (1994).

Neste trabalho foram utilizados os valores do coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) para medir a qualidade do ajuste da reta aos pontos, bem como para identificar elementos com valores dispersos nos diagramas bivariantes. Assim, foram considerados satisfatórios os valores de nível de significância acima de 95%. Os valores de R<sup>2</sup> estão relacionados ao quanto uma reta é representativa de um conjunto de dados pontuais, quanto mais próximo este valor estiver de 1,0 mais representativa a reta é. Os valores do nível de significância (NS) e de R<sup>2</sup> para as equações lineares (R<sup>2L</sup>) e polinomiais (R<sup>2P</sup>) dos elementos maiores e traço são apresentados na tabela 6.

Tabela 6. Valores de R<sup>2</sup> das equações lineares (R<sup>2L</sup>) e polinomiais (R<sup>2P</sup>) para os elementos maiores e traço das amostras de diabásio.

	R <sup>2L</sup>	NS	R <sup>2P</sup>	NS	n
SiO <sub>2</sub>	0,551	99%	0,5525	99%	71
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0003	< 80%	0,0283	99%	71
FeO <sub>t</sub>	0,0168	< 80%	0,0262	99%	71
CaO	0,5032	99%	0,5131	99%	71
Na <sub>2</sub> O	0,069	95-99%	0,0729	95-99%	71
K <sub>2</sub> O	0,1975	99%	0,2512	99%	71
TiO <sub>2</sub>	0,4867	99%	0,4876	99%	71
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,7033	99%	0,7038	99%	71
Ba	0,0406	90-95%	0,0538	90-95%	71
Cr	0,2335	99%	0,2421	99%	71
Rb	0,0011	< 80%	0,0638	95-99%	71
Y	0,303	99%	0,3275	99%	71
Zr	0,7409	99%	0,7409	99%	71
Sr	0,2006	99%	0,2379	99%	71

Os diagramas bivariantes foram elaborados utilizando MgO como abscissa, tanto para os elementos maiores (Figura 49) quanto para os elementos traço (Figura 50). Visto que os três conjuntos de dados não apresentam análise para todos os elementos traço foram escolhidos aqueles que possuem análise para todas as amostras.

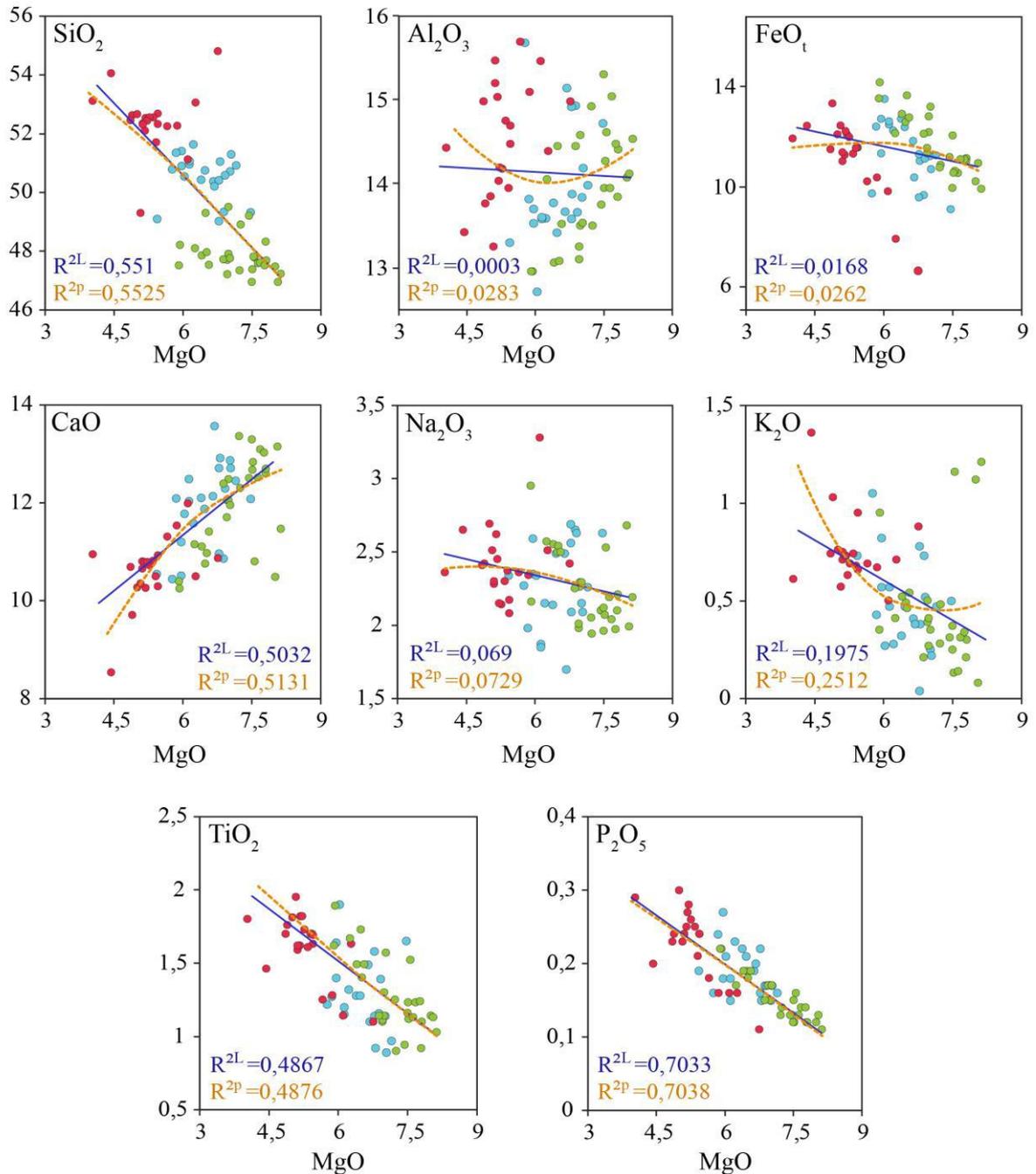


Figura 49. Diagramas de variação para MgO (% peso) e elementos maiores (% peso) dos grupos geoquímicos A (●), B (●) e C (●). As curvas lineares (tracejadas) e respectivos valores de  $R^2$  são apresentadas nos diagramas.

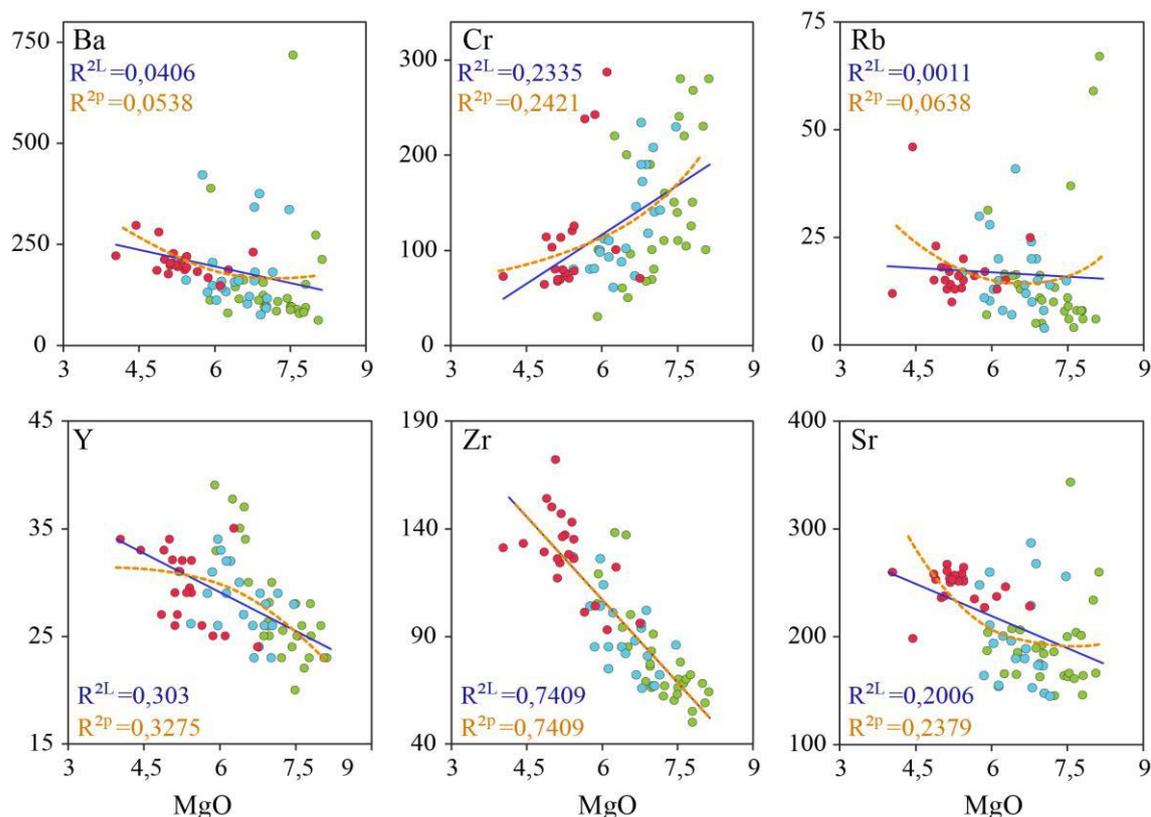


Figura 50. Diagramas de variação para MgO (% peso) e elementos traço (ppm) dos grupos geoquímicos A (●), B (●) e C (●). As curvas lineares (tracejadas) e respectivos valores de  $R^2$  são apresentadas nos diagramas.

Dos elementos maiores,  $Al_2O_3$  e  $FeO_t$  apresentaram valores de NC menores do que 80%, indicando que estes elementos apresentam grande dispersão e não devem ser utilizados como base para discriminação das amostras. Ao observar os respectivos diagramas bivariantes destes elementos nota-se uma grande dispersão dos pontos. No caso do  $Al_2O_3$  isto pode estar relacionado à proporção de fenocristais de plagioclásio, que não representam a composição do líquido (Rollinson, 1993) ou indicar alto grau de mobilização intempérica destes elementos, provavelmente devido à alteração dos cristais de plagioclásio. Da mesma forma, o  $FeO_t$  é um elemento altamente susceptível ao intemperismo, podendo ser mobilizado da estrutura dos óxidos como hematita e magnetita. Os demais óxidos possuem valores de NS satisfatórios, são esses:  $SiO_2$ ,  $CaO$ ,  $Na_2O_3$  e  $TiO_2$  com valores entre 95 e 99% e  $P_2O_5$  e Zr com 99%. Portanto, estes elementos podem ser considerados confiáveis para a utilização como parâmetro de classificação.

A avaliação dos *trends* foi feita relacionando  $R^2$  com os diagramas bivariantes. Observando as retas das equações nas figuras 49 e 50 nota-se que os elementos de maior  $R^2$ , ou seja,  $SiO_2$ ,  $TiO_2$ ,  $P_2O_5$  e Zr, possuem curvas polinomiais similares às curvas lineares, sendo a única exceção  $CaO$ . Assim, pode-se dizer que as funções lineares são as que melhor caracterizam os *trends* dos diagramas bivariantes destas amostras, indicando, possivelmente, a

atuação de cristalização fracionada sem mudança na assembleia fracionante como processo de evolução destas amostras (Rollinson, 1993).

Os diagramas bivariantes indicam, ainda, coeficiente angular negativo para  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{FeO}_t$ ,  $\text{Na}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ , Ba, Y, Zr e Sr, caracterizando um acréscimo desses elementos no líquido conforme a diminuição na concentração de MgO. Ou seja, considerando que as amostras pertençam à mesma suíte magmática, haveria um aumento na proporção destes elementos no líquido durante a cristalização dos minerais no processo de evolução.

### 6.3 Lamprófiro

As cinco intrusões de lamprófiro cartografadas na região do Pontal do Atalaia foram selecionadas para análise geoquímica. Estas foram separadas na petrografia de acordo com a assembleia de fenocristais nas *variedades 1* (♦), *2* (◆) e *3* (◇), sendo esta classificação utilizada para plotar as amostras nos gráficos deste capítulo.

Os valores de perda ao fogo (PF) nestas amostras variam de 3,93% até 7,32%, sendo a média de 5,21%. Valores elevados de PF são comumente descritos em rochas alcalinas e não necessariamente estão relacionados com o grau de alteração das amostras. Neste caso, tais valores possivelmente estão associados à grande quantidade de voláteis dos magmas lamprofíricos.

Estas rochas apresentaram teores de  $\text{SiO}_2$  de 37,9% até 45% e teores de MgO de 5,47% a 10,5%, sendo as *variedades 2* e *3* classificadas como ultrabásicas e a *variedade 1* como básica. A norma CIPW (Anexo VI) em conjunto com o diagrama TAS (Figura 51) foi utilizada para a discriminação da série magmática. A norma CIPW indica a presença de *Ne* e ausência de *Q* e *Hy*, inserindo, desta forma, as amostras na série alcalina. O diagrama TAS corrobora para esta classificação, já que as amostras plotam acima do limite alcalino/subalcalino. Este diagrama foi também utilizado para a classificação geoquímica destas rochas, sendo identificadas como fonotefrito, basanita (olivina normativa >10%) e tefrito (olivina normativa <10%).

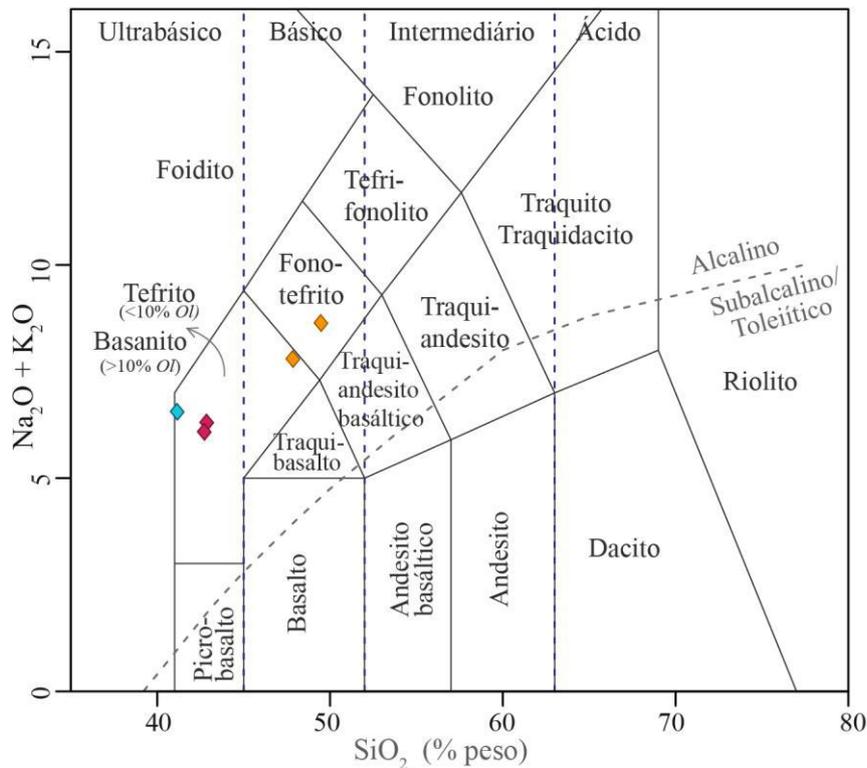


Figura 51. Diagrama TAS ( $\text{SiO}_2$  versus  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) de Le Bas (1986) para os lamprófiros das variedades petrográficas 1 (♦), 2 (♦) e 3 (♦).

A classificação no diagrama TAS em conjunto com a norma CIPW e a análise dos elementos maiores apresentou correlação com as três variedades de lamprófiro definidas na petrografia. A tabela 7 apresenta a proporção de alguns minerais normativos mais relevantes para as variedades petrográficas.

Tabela 7. Classificação no diagrama TAS, valor de perda ao fogo (PF) e minerais normativos mais representativos para as variedades petrográficas de lamprófiro 1 (V1), 2 (V2) e 3 (V3). Minerais normativos: *Or* – ortoclásio, *Ab* – albita, *An* – anortita, *Lc* – leucita, *Ne* – nefelina e *Ol* – olivina.

	Amostra	<i>Ab</i>	<i>An</i>	<i>Lc</i>	<i>Ne</i>	<i>Ol</i>
V1	AC-EG-01-A	12,05	9,74	0	19,55	10,87
	AC-DQ-12	18,85	7,92	0	19,52	10,62
V2	AC-EG-61	0	11,17	6,6	15,19	18,25
	AC-EG-62	0	12,8	9,54	14,15	13,63
V3	AC-EG-05-B	0	13,16	12,85	17,72	8,54

A variedade 1 apresenta o maior teor de álcalis, maior quantidade de *Ne* e ausência de *Lc*. Esta é ainda a única variedade com albita normativa e ocorrência de fenocristais de feldspato, conforme a descrição petrográfica. A variedade 2 possui a maior quantidade de *Ol* e são intermediárias quanto ao teor dos outros minerais normativos. Por fim, a variedade 3 possui o maior teor de PF e *Lc*. O alto valor de PF pode estar relacionado à alteração dos fenocristais de biotita, descritos em campo e na petrografia.

Assim, *V1* é considerada a amostra mais primitiva, passando por *V3* até *V2*, sendo esta última a mais evoluída. O teor de álcalis, no entanto, mostra um aumento inverso. A *variedade 1* é a mais sódica e a *variedade 3* a mais cálcica, observado pelos teores de elementos maiores e quantidades de anortita e albita normativas.

## 7 DISCUSSÕES

A utilização da cartografia geológica das intrusões magmáticas na escala de 1:5.000 com posterior compilação para 1:10.000 possibilitou uma melhor representação das estruturas que ocorrem no Pontal do Atalaia. Mapas anteriores apresentam discordâncias quanto à localização e direção dos diques bem como ausência de representação das variedades de diques alcalinos.

A partir dos trabalhos de campo foram observadas relações de corte entre os litotipos, estas estabelecem uma cronologia relativa e possibilitam a correlação desses com eventos tectonomagmáticos importantes. Dentre os corpos ígneos as intrusões de diabásio foram as primeiras a serem formadas, seguidas pelo traquito e posteriormente fonolito, entretanto, não foram observadas relações de corte com o lamprófito. Também não foram identificados corpos de nefelina sienito ou de outras litologias intrusivas no Pontal do Atalaia, como descrito por Araújo (1995).

Os corpos de diabásio são os mais antigos e intrudem somente o ortognaisse e anfibolito do embasamento. Estes são comumente associados à abertura do Atlântico Sul no Cretáceo Inferior, entretanto, Bennio *et al.* (2003) apresentam idades de 55 Ma ( $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ) e sugere que estas rochas teriam sido colocadas em conjunto com os corpos alcalinos da região. No entanto, a ocorrência de dois pulsos magmáticos toleíticos, um mais antigo de *ca.* 130 Ma e outro de 55 Ma, implicaria em relações de corte em campo que não foram observadas durante esta pesquisa.

A petrografia dos diabásios indicou uma assembleia mineralógica homogênea, com variação das texturas, que são equigranulares, porfiríticas e glomeroporfiríticas. Já no estudo geoquímico, optou-se pela compilação de dados de intrusões similares da região, sendo o total de 71 amostras dividido em três grupos geoquímicos, baseados nos teores de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{TiO}_2$  e Zr.

A classificação em tipos de baixo e alto- $\text{TiO}_2$  foi feita utilizando o critério de Bellieni *et al.* (1994) e indicou amostras unicamente de baixo- $\text{TiO}_2$ . Observa-se, ainda, um aumento neste teor do *grupo 1 e 2* em relação ao *grupo 3*, evidenciado pela média do óxido em cada grupo. Assim, as amostras do *grupo 3* poderiam ter sido colocadas em tempo diferente das demais, e com, possivelmente, uma maior interação com a crosta continental.

Os diagramas bivariantes apresentaram *trends* essencialmente retilíneos, indicando possivelmente processo de cristalização fracionada sem alteração da assembleia fracionante. A petrografia corrobora para este processo, já que não foram descritas feições de desequilíbrio observadas nas amostras descritas na petrografia.

As intrusões de lamprófiro, por sua vez, apesar de não terem sido observadas relações de corte, são consideradas mais recentes que o diabásio e as mais antigas do magmatismo alcalino, como observado por Motoki *et al.* (2008). Idades de lamprófiro no estado do Rio de Janeiro corroboram para esta cronologia. Guedes *et al.* (2005) obteve idade de  $82,6 \pm 1,7$  Ma pelo método K-Ar para um corpo potássico máfico na Bacia de Santos em Resende. Quando comparados às idades de 51 Ma (K-Ar) de Amaral *et al.* (1967) para o corpo de nefelina sienito, e, levando em consideração que a gênese dos corpos de traquito e fonolito estão associadas às rochas alcalinas da Ilha do Cabo Frio, pode-se confirmar o posicionamento do lamprófiro nesta cronologia.

A descrição petrográfica do lamprófiro definiu três variedades com assembleias mineralógicas distintas que se confirmaram na análise geoquímica. A *variedade 1* é caracterizada por fenocristais de sanidina, olivina, biotita, clinopiroxênio zonado e kaesurtita, sendo considerada através da geoquímica a variedade mais evoluída dentre as três. Apesar de não apresentar os maiores teores de  $\text{TiO}_2$  foi a única a apresentar granada titanífera, formada possivelmente pela composição favorável, rica em  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , com a remobilização do titânio para uma amígdala.

Petrograficamente, a *variedade 2* é caracterizada por fenocristais de olivina, sendo a matriz composta de vidro e cristais de clinopiroxênio. É a variedade mais primitiva dentre o conjunto, indicando, provavelmente, uma composição essencialmente magnésiana para as olivinas dessa amostra.

A *variedade 3* é intermediária quanto à basicidade, com uma única ocorrência na área de estudo, é caracterizada na petrografia por uma assembleia de fenocristais composta essencialmente por biotita e clinopiroxênio zonado. Dentre as amostras, essa mostrou-se mais cálcica que as demais.

Todas as intrusões lamprofíricas apresentaram feições de corrosão e zoneamento em lâmina petrográfica, indicando o possível desequilíbrio da assembleia fracionante com o líquido. O zoneamento observado nos cristais de clinopiroxênio da *variedade 1* indicam núcleos corroídos de composição rica em Fe e bordas euédricas ricas em Mg, o inverso do que se espera de uma cristalização contínua. Como não foram observadas estruturas indicativas de mistura de magma em campo sugere-se uma composição inicial rica em ferro, associada à uma rápida ascensão desse magma, gerando a corrosão entre borda e núcleo.

Os traquitos, por sua vez, puderam ser classificados em campo em dois tipos principais, um de textura afanítica e outro porfirítica. Estes corpos apresentam três direções, sendo NW-SE a principal e duas famílias subordinadas NE-SW e WNW-ESE, indicando, possivelmente a ocorrência de mais de uma geração deste litotipo. A ocorrência de amígdalas e fraturas preenchidas por epidoto, clorita e anfibólio de uma destas intrusões e do embasamento ao redor pode estar associada à mobilização de fluídos pelas intrusões de fonolito, que são consideradas mais recentes.

As feições de substituição da nefelina e bordas arredondadas dos cristais de fonolito podem indicar alteração hidrotermal e desequilíbrio com o magma durante a cristalização. A alteração hidrotermal dos minerais observado em lâmina petrográfica corrobora para a hipótese de mobilização de fluídos e precipitação de epidoto, clorita e anfibólio nas rochas adjacentes.

## **8 CONCLUSÕES**

Com os trabalhos de campo foram cartografados um total de 73 corpos intrusivos, toleíticos e alcalinos. Os dados levantados em campo, nas atividades laboratoriais e de escritório sugerem as seguintes conclusões para o magmatismo do Pontal do Atalaia:

A) A cronologia relativa do magmatismo indica que o diabásio é a unidade intrusiva mais antiga, seguida pelo lamprófiro, traquito e, por fim, fonolito.

B) Os diabásios são os corpos de maior dimensão e apresentam direção essencialmente NE-SW, correlacionáveis com as demais intrusões do Enxame de Diques Santos – Rio de Janeiro. Na petrografia, apresentam mineralogia homogênea com texturas equigranular, porfirítica e glomeroporfirítica. São distinguíveis três grupos geoquímicos de baixo-TiO<sub>2</sub> que teriam evoluído por cristalização fracionada sem alteração da assembleia fracionante.

C) O lamprófiro é de ocorrência restrita, com direções NE-SW e NW-SE. Foram definidas três variedades distintas que se confirmam na geoquímica com tipos geoquímicos classificados em fonotefrito, tefrito e basanita. As feições de zoneamento no lamprófiro indicam uma composição inicial do magma mais rica em ferro, associada à sua rápida ascensão.

D) Ocorrem duas variedades de traquito, uma afanítica e outra porfirítica, com direção NW-SE e, subordinadamente, NE-SW e WNW-ESE. As intrusões de fonolito, por sua vez, apresentam direção ENE-WSW e podem ter mobilizado fluídos ricos em cálcio, preenchendo amígdalas e fraturas de rochas adjacentes.

## 9 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA F. F. 1986. Distribuição regional e relações tectônicas do magmatismo pós-paleozóico no Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, **16**(4), 325-349.
- ALMEIDA F. F. M., HASUI Y., BRITO NEVES B. B., FUCK R. A. 1981. Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth-Science Reviews*, **17**(1-2), 1-29.
- AMARAL G., BUSHEE J. C. U. G., CORDANI U. G., KAWASHITA K., REYNOLDS J. H. 1967. Potassium-argon ages of alkaline rocks from southern Brazil. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **31**(2), 117-142.
- ARAÚJO, A.L. 1995. Geologia, geoquímica e petrologia das rochas alcalinas da Ilha do Cabo Frio e das áreas continentais adjacentes, Arraial do Cabo - RJ. 1995. 114 p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Geologia. Universidade Federal Fluminense. Niterói.
- BELLIENI, G., COMIN-CHIRAMONTI, P., MARQUES, L.S., MELFI, A.J., PICCIRILLO, E.M., NARDY, A.J.R. & ROSEMBERG, A. 1984. High- and Low-TiO<sub>2</sub> flood basalts from Paraná plateau (Brazil): petrology and geochemical aspects bearing on their mantle origin. *Neues Jahrbuch Fur Mineralogie-Abhandlungen*, **150**: 273-306.
- BENNIO L., BROTZU P., D'ANTONIO M., FERAUD G., GOMES C. B., MARZOLI A., MELLUSO L., MORBIDELLI L., MORRA V., RAPAILLE C., RUBERTI E. 2003. The tholeiitic dyke swarm of the Arraial do Cabo Peninsula (SE Brazil): <sup>39</sup>Ar/<sup>40</sup>Ar ages, petrogenesis and regional significance. *In: Journal of South American Earth Sciences* **16**, 163-176.
- CONCEIÇÃO F. R., TUPINAMBÁ M., TEXEIRA W., VALERIANO C. M., HEILBRON M., KAWASHITA K. 1997. Proterozoic and cretaceous gabbroic rocks from the Serra dos Orgãos region, southeastern Brazil. *In South-American Symposium On Isotope Geology: Vol. 3*, p. 18.
- DUTRA T. 2006. Petrogênese dos basaltos de baixo-TiO<sub>2</sub> do Enxame de Diques da Serra do Mar na Região dos Lagos, RJ. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Análise de Bacias e Faixas Móveis. Universidade Estadual do Rio de Janeiro.
- FERRARI, André Luiz. Evolução tectônica do Gráben da Guanabara. 2001. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- FODOR R. V., MCKEE E. H., ASMUS H. E. 1983. K-Ar ages and the opening of the South Atlantic Ocean: Basaltic rock from the Brazilian margin. *Marine geology*, **54**(1-2), M1-M8.
- GUEDES E., HEILBRON M., VASCONCELOS P. M., VALERIANO C. M., ALMEIDA J. C. H., TEIXEIRA W., THOMAZ FILHO A. 2005. K-Ar and <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar ages of dikes emplaced in the onshore basement of the Santos Basin, Resende area, SE Brazil: implications for the south Atlantic opening and Tertiary reactivation. *Journal of South American Earth Sciences*, **18**(3-4), 371-382.
- HEILBRON M., & MACHADO N. 2003. Timing of terrane accretion in the Neoproterozoic–Eopaleozoic Ribeira orogen (SE Brazil). *Precambrian Research*, **125**(1-2), 87-112.
- HEILBRON M., MOHRIAK W. U., VALERIANO C. M., MILANI E. J., ALMEIDA J. C. H., TUPINAMBÁ M. 2000. From collision to extension: the roots of the southeastern continental

margin of Brazil. *GEOPHYSICAL MONOGRAPH-AMERICAN GEOPHYSICAL UNION*, **115**, 1-32.

HEILBRON M., PEDROSA-SOARES A.C., SILVA L.C., CAMPOS NETO M.C., TROUW R.A.J. Província Mantiqueira. In: MANTESSO-NETO V., BARTORELLI A., CARNEIRO C.D.R., BRITO-NEVES B.B. Eds. *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. 2004. São Paulo: Editora Beca, p.203-235.

HEILBRON M., VALERIANO C. M., TASSINARI C. C. G., ALMEIDA J. C. H., TUPINAMBÁ M., SIGA O., TROUW R. 2008. Correlation of Neoproterozoic terranes between the Ribeira Belt, SE Brazil and its African counterpart: comparative tectonic evolution and open questions. *Geological Society, London, Special Publications*, **294**(1), 211-237.

IRVINE T. M. & BARAGAR W. R. 1971. A guide to the chemical classification of common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences* **8**: 523-548

LE BAS M. J., LE MAITRE R. W., STRECKEISEN A., ZANETTIN B. 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology* **27**: 745-750

MARQUES L. S., & ERNESTO M. 2004. O magmatismo toleítico da Bacia do Paraná. In: MANTESSO-NETO V., BARTORELLI A., CARNEIRO C.D.R., BRITO-NEVES B.B. Eds. *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo: Editora Beca, p.203-235.

MIDDLEMOST E. A. K. 1989. Iron oxidation ratios, norms and the classification of volcanic rocks. *Chemical Geology* **77**, pp.:19-26.

MOTOKI A., SICHEL S. E., SAVID. C., AIRES J. R. 2008. Mecanismo de intrusão dos corpos tabulares de colocação sub-horizontal discordante da Ilha de Cabo Frio e das áreas adjacentes, município de arraial do cabo, RJ: Intrusion mechanism of tabular intrusive bodies of subhorizontal discordant emplacement of the Cabo Frio Island and the neighbour areas, State of Rio de Janeiro, Brazil. *Geociências (São Paulo)*, **27**(2), 207-218.

PEATE D. W., HAWKESWORTH C. J., MANTOVANI, M. S. 1992. Chemical stratigraphy of the Paraná lavas (South America): classification of magma types and their spatial distribution. *Bulletin of Volcanology*, **55**(1-2), 119-139.

PICCIRILLO E. M., BELLINI G., CAVAZZINI G., COMIN-CHIARAMONTI P., PETRINI R., MELFI A. J., PINESE J. P. P., ZANTADESHI P., DE MIN A. 1990. Lower Cretaceous tholeiitic dyke swarms from the Ponta Grossa Arch (southeast Brazil): Petrology, Sr-Nd isotopes and genetic relationships with the Paraná flood volcanics. *Chemical Geology*, **89**(1-2), 19-48.

RAPOSO M. I. B., ERNESTO M., RENNE P. R. 1998. Paleomagnetism and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating of the Early Cretaceous Florianópolis dike swarm (Santa Catarina Island), Southern Brazil. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, **108**(4), 275-290.

RENNE P. R., DECKART K., ERNESTO M., FE, G., PICCIRILLO E. M. 1996. Age of the Ponta Grossa dike swarm (Brazil), and implications to Paraná flood volcanism. *Earth and Planetary Science Letters*, **144**(1-2), 199-211.

ROLLISON, H.R. 1993. Using geochemical data. Longman Scientific & Technical, Essex, 376p.

SCHMITT R.S., TROUW R. A., VAN SCHMUS W. R., PIMENTEL M. M. 2004. Late amalgamation in the central part of West Gondwana: new geochronological data and the characterization of a Cambrian collisional orogeny in the Ribeira Belt (SE Brazil). *Precambrian Research*, **133**(1-2), 29-61.

SICHEL S. E., MOTOKI A., SAVI D. C., SOARES R. 2008. Subvolcanic vent-filling welded tuff breccia of Cabo Frio Island, State of Rio de Janeiro, Brazil. *Rem: Revista Escola de Minas*, **61**(4), 423-432.

THOMAZ FILHO A., & RODRIGUES A. L. 1999. O alinhamento de rochas alcalinas Poços de Caldas-Cabo Frio (RJ) e sua continuidade na cadeia Vitória-Trindade. *Brazilian Journal of Geology*, **29**(2), 189-194.

THOMAZ FILHO A., DE CESERO P., MIZUSAKI A. M., LEÃO J. G. 2005. Hot spot volcanic tracks and their implications for south American plate motion, Campos basin (Rio de Janeiro state), Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **18**(3-4), 383-389.

THOMPSON R. N., GIBSON S. A., MITCHELL J. G., DICKIN A. P., LEONARDOS O. H., BROD J. A., GREENWOOD J. C. 1998. Migrating Cretaceous–Eocene Magmatism in the Serra do Mar Alkaline Province, SE Brazil: Melts from the Deflected Trindade Mantle Plume? *Journal of Petrology*, **39**(8), 1493-1526.

THOMPSON, R. N. 1984. Dispatches from the basalt front. I. Experiments. *Proceedings of the Geologists' Association* **95**(3): 249-262.

TURNER S., REGELOUS M., KELLEY S., HAWKESWORTH C., MANTOVANI M. 1994. Magmatism and continental break-up in the South Atlantic: high precision  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  geochronology. *Earth and Planetary Science Letters*, **121**(3-4), 333-348.

WINCHESTER J. A. & FLOYD P. A. 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology* **20**: 325-343.

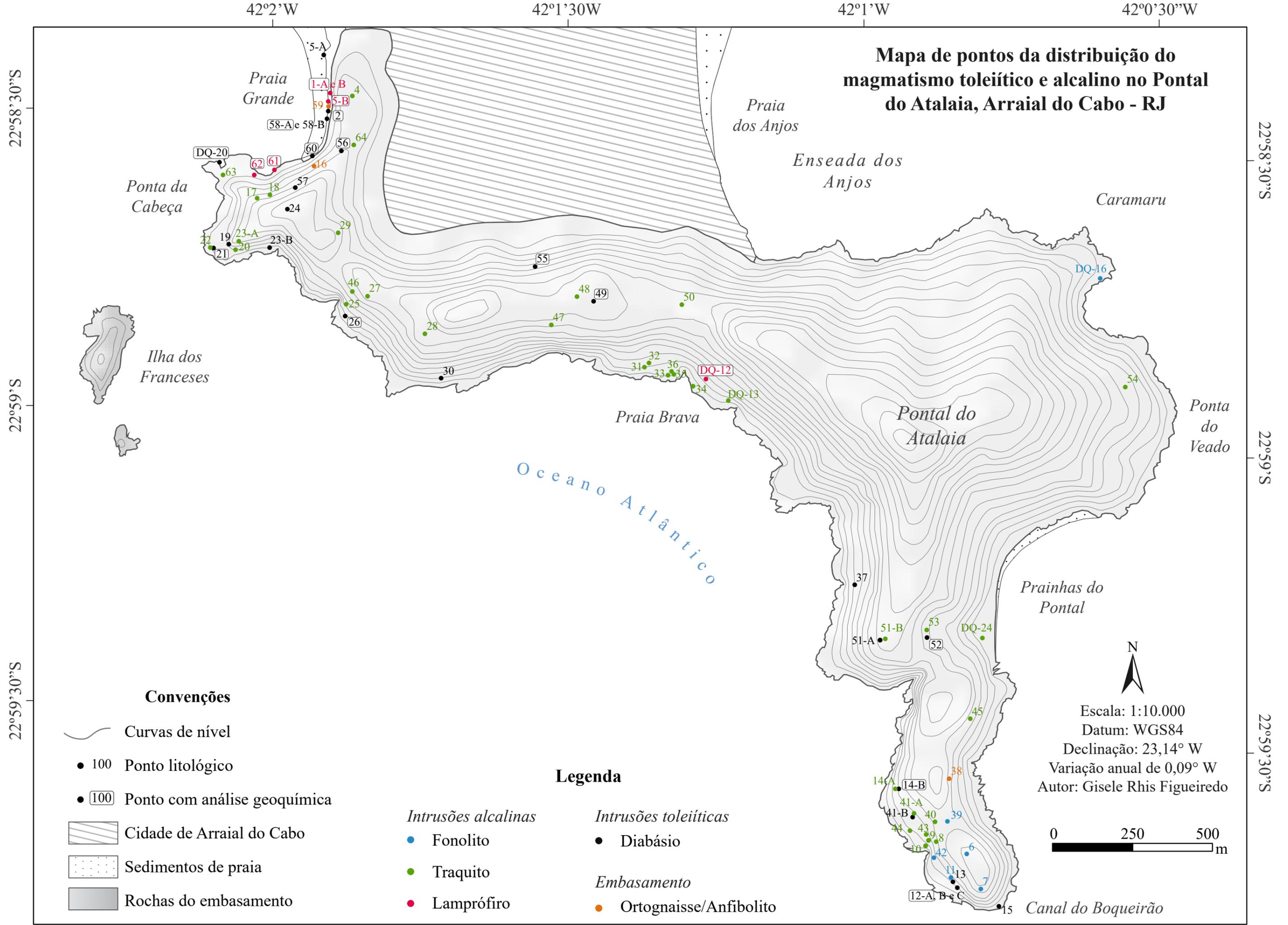
**ANEXO I**  
**Tabela de Pontos**

<b>Ponto</b>	<b>Longitude</b>	<b>Latitude</b>	<b>Litologia</b>	<b>Atitude intrusão</b>
AC-EG-01	-42,03171	-22,97454	Lamprófiro	225/82
AC-EG-02	-42,03180	-22,97525	Diabásio	155/80
AC-EG-04	-42,03114	-22,97467	Traquito	N22E
AC-EG-05-A	-42,03189	-22,97346	Diabásio	8/79
AC-EG-05-B	-42,03175	-22,97493	Lamprófiro	20/70
AC-EG-06	-42,01379	-22,99597	Fonolito	347/60
AC-EG-07	-42,01340	-22,99707	Fonolito	10/72
AC-EG-08	-42,01465	-22,99561	Traquito	15/30
AC-EG-09-A	-42,01486	-22,99559	Traquito	122/58
AC-EG-09-B	-42,01486	-22,99559	Traquito	52/32
AC-EG-10-A	-42,01495	-22,99573	Traquito	8/62
AC-EG-10-B	-42,01495	-22,99573	Traquito	265/50
AC-EG-11	-42,01423	-22,99663	Fonolito	342/60
AC-EG-12-A	-42,01405	-22,99694	Diabásio	324/89
AC-EG-12-B	-42,01405	-22,99694	Traquito	85/60
AC-EG-12-C	-42,01405	-22,99694	Traquito	125/30
AC-EG-13	-42,01412	-22,99675	Diabásio	330/60
AC-EG-14-A	-42,01570	-22,99412	Traquito	115/40
AC-EG-14-B	-42,01580	-22,99412	Diabásio	115/40
AC-EG-15	-42,01288	-22,99744	Diabásio	154/-
AC-EG-16	-42,03216	-22,97660	Ortognaisse	N64E
AC-EG-17	-42,03376	-22,97750	Traquito	130/45
AC-EG-18	-42,03340	-22,97740	Traquito	150/35
AC-EG-19	-42,03456	-22,97880	Diabásio	40/50
AC-EG-20	-42,03456	-22,97880	Traquito	45/30
AC-EG-21	-42,03486	-22,97899	Diabásio	160/50
AC-EG-22	-42,03508	-22,97889	Traquito	60/60
AC-EG-23-A	-42,03428	-22,97871	Traquito	-
AC-EG-23-B	-42,03428	-22,97871	Diabásio	-
AC-EG-24	-42,03291	-22,98048	Diabásio	-
AC-EG-25	-42,03125	-22,98048	Traquito	-
AC-EG-26	-42,03129	-22,98081	Diabásio	140/60
AC-EG-27	-42,03065	-22,98025	Traquito	
AC-EG-28	-42,02904	-22,98131	Traquito	190/70
AC-EG-29	-42,03148	-22,97847	Traquito	-
AC-EG-30	-42,02859	-22,98257	Diabásio	N30W
AC-EG-31	-42,02286	-22,98225	Traquito	60/35
AC-EG-32	-42,02273	-22,98214	Traquito	50/20
AC-EG-33	-42,02220	-22,98248	Traquito	40/20
AC-EG-34	-42,02149	-22,98280	Traquito	80/30
AC-EG-35	-42,02203	-22,98246	Traquito	110/40
AC-EG-36	-42,02210	-22,98238	Traquito	45/40
AC-EG-37	-42,01695	-22,98839	Diabásio	-
AC-EG-38	-42,01422	-22,99384	Anfibolito	200/30
AC-EG-39	-42,01433	-22,99504	Fonolito	172/70
AC-EG-40	-42,01468	-22,95063	Traquito	-
AC-EG-41-A	-42,01532	-22,99492	Traquito	140/50
AC-EG-41-B	-42,01532	-22,99492	Diabásio	205/70
AC-EG-42	-42,01471	-22,99608	Fonolito	140/40

AC-EG-43	-42,01493	-22,99542	Traquito	-
AC-EG-44	-42,01539	-22,99531	Traquito	-
AC-EG-45	-42,01369	-22,99216	Traquito	-
AC-EG-46	-42,03108	-22,98013	Traquito	-
AC-EG-47	-42,02548	-22,98107	Traquito	-
AC-EG-48	-42,02476	-22,98027	Traquito	-
AC-EG-49	-42,02429	-22,98040	Diabásio	-
AC-EG-50	-42,02181	-22,98050	Traquito	-
AC-EG-51-A	-42,01623	-22,98994	Diabásio	300/72
AC-EG-51-B	-42,01623	-22,98994	Traquito	-
AC-EG-52	-42,01491	-22,98987	Diabásio	310/82
AC-EG-53	-42,01492	-22,98965	Traquito	10/80
AC-EG-54	-42,00933	-22,98281	Traquito	-
AC-EG-55	-42,02594	-22,97942	Diabásio	330/70
AC-EG-56	-42,03139	-22,97616	Diabásio	-
AC-EG-57	-42,03269	-22,97720	Diabásio	280/45
AC-EG-58-A	-42,03176	-22,97504	Diabásio	140/65
AC-EG-58-B	-42,03176	-22,97504	Diabásio	-
AC-EG-59	-42,03176	-22,97504	Ortognaisse	-
AC-EG-60	-42,03221	-22,97631	Diabásio	260/85
AC-EG-61	-42,04203	-22,97670	Lamprófiro	315/80
AC-EG-62	-42,03472	-22,97685	Lamprófiro	318/58
AC-EG-63	-42,03472	-22,97685	Traquito	-
AC-EG-64	-42,03104	-22,97600	Traquito	-
AC-EG-65-A	-42,03223	-22,98011	Diabásio	N40E
AC-EG-65-B	-42,03223	-22,98011	Traquito	N85E

**ANEXO II**  
**Mapa de Pontos**

# Mapa de pontos da distribuição do magmatismo toleítico e alcalino no Pontal do Atalaia, Arraial do Cabo - RJ



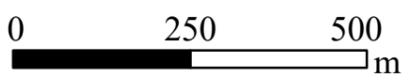
### Convenções

-  Curvas de nível
-  100 Ponto litológico
-  100 Ponto com análise geoquímica
-  Cidade de Arraial do Cabo
-  Sedimentos de praia
-  Rochas do embasamento

### Legenda

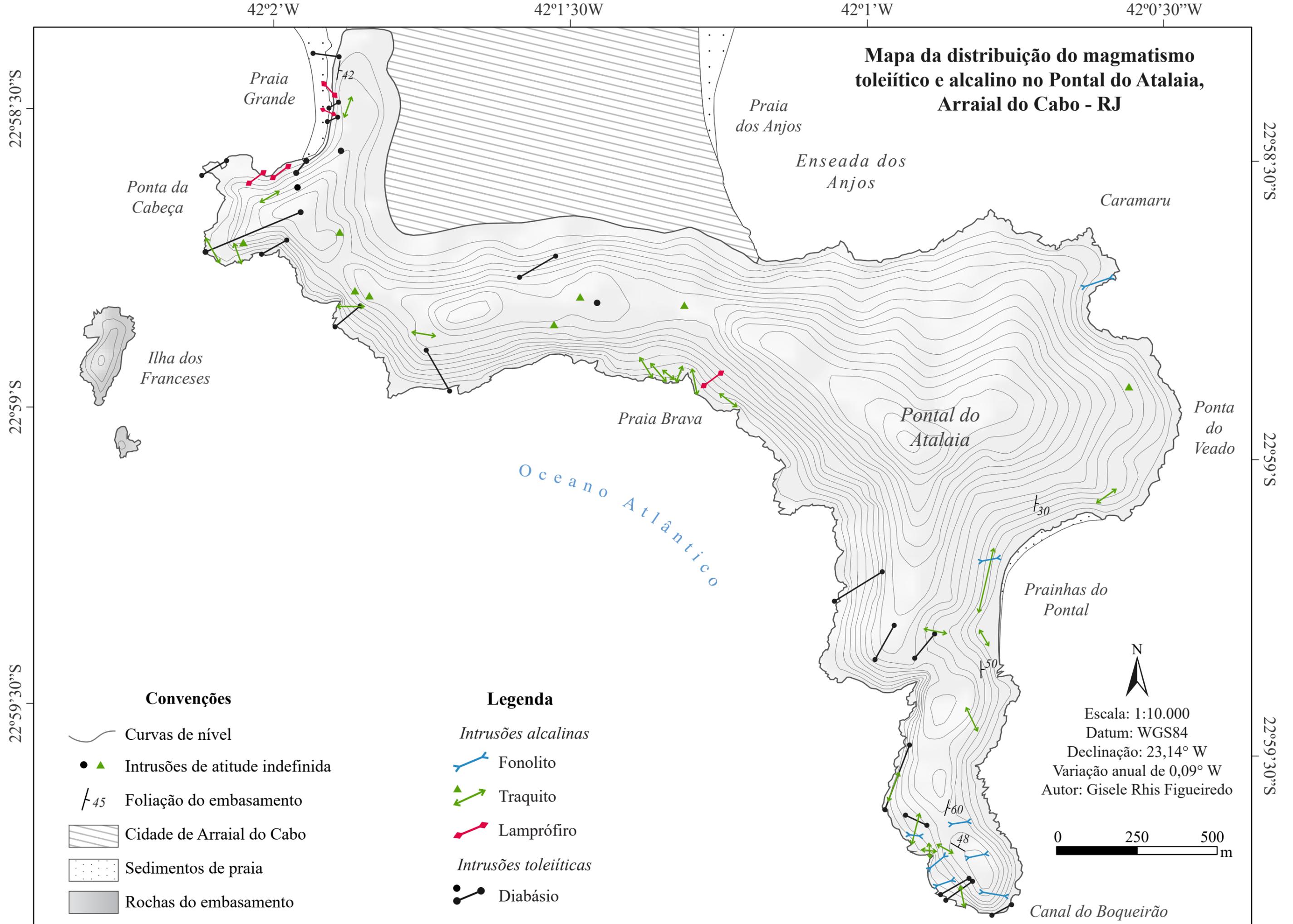
- |   |            |   |                        |
|---|------------|---|------------------------|
| <i>Intrusões alcalinas</i>  |            | <i>Intrusões toleíticas</i>   |                        |
|  | Fonolito   |  | Diabásio               |
|  | Traquito   | <i>Embasamento</i>  |                        |
|  | Lamprófiro |  | Ortognaisse/Anfibolito |

Escala: 1:10.000  
 Datum: WGS84  
 Declinação: 23,14° W  
 Variação anual de 0,09° W  
 Autor: Gisele Rhis Figueiredo



**ANEXO III**  
**Mapa de Distribuição das Intrusões**

**Mapa da distribuição do magmatismo toleítico e alcalino no Pontal do Atalaia, Arraial do Cabo - RJ**



**Convenções**

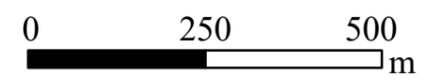
-  Curvas de nível
-  Intrusões de atitude indefinida
-  Foliação do embasamento
-  Cidade de Arraial do Cabo
-  Sedimentos de praia
-  Rochas do embasamento

**Legenda**

- Intrusões alcalinas*
-  Fonolito
-  Traquito
-  Lamprófito
- Intrusões toleíticas*
-  Diabásio



Escala: 1:10.000  
 Datum: WGS84  
 Declinação: 23,14° W  
 Variação anual de 0,09° W  
 Autor: Gisele Rhis Figueiredo



Canal do Boqueirão

**ANEXO IV**  
**Dados Litogeoquímicos**

Amostra	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SrO	BaO	P.F.	Total
AC-EG-02	47,20	13,10	12,60	12,05	6,96	1,98	0,39	0,02	1,10	0,20	0,17	0,02	0,01	2,32	98,12
AC-EG-12A	48,10	14,05	13,50	11,15	6,26	2,57	0,41	0,03	1,67	0,20	0,17	0,02	0,01	0,69	98,83
AC-EG-14B	49,30	14,45	14,00	10,75	6,49	2,50	0,49	0,02	1,73	0,21	0,19	0,02	0,01	0,66	100,82
AC-EG-21	49,10	13,30	12,85	10,55	5,43	2,34	0,73	0,01	1,70	0,19	0,19	0,03	0,02	2,02	98,46
AC-EG-26	49,50	13,50	14,25	12,05	6,99	2,29	0,41	0,01	1,30	0,22	0,17	0,02	0,01	1,13	101,85
AC-EG-49	48,90	13,50	12,10	12,30	7,25	1,94	0,48	0,02	0,90	0,19	0,14	0,02	0,01	1,88	99,63
AC-EG-52	49,20	13,75	12,45	12,50	7,44	2,10	0,31	0,02	0,94	0,20	0,13	0,02	0,01	0,66	99,73
AC-EG-55	51,70	13,95	12,85	10,50	5,41	2,37	0,68	0,01	1,70	0,19	0,21	0,03	0,02	0,83	100,45
AC-EG-56	50,90	13,70	12,60	11,20	5,96	2,35	0,57	0,01	1,64	0,20	0,18	0,03	0,02	0,68	100,04
AC-EG-58A	48,20	12,95	15,75	10,25	5,93	2,16	0,95	0,01	1,89	0,20	0,22	0,03	0,04	2,40	100,98
AC-EG-60	47,70	13,25	12,85	11,70	6,96	2,01	0,50	0,02	1,11	0,19	0,17	0,02	0,02	4,16	100,66
AC-DQ-20	49,30	13,25	13,85	10,35	5,08	2,51	0,57	0,01	1,95	0,21	0,23	0,03	0,02	2,27	99,63
AC-EG-01	45,50	14,40	8,52	9,06	7,56	5,37	2,04	0,05	1,88	0,18	0,60	0,20	0,15	4,47	99,98
AC-EG-05B	37,90	12,90	13,05	12,35	5,47	3,52	2,52	<0,002	3,07	0,23	1,15	0,20	0,15	7,32	99,83
AC-EG-61	40,10	11,75	11,55	10,15	10,50	3,08	2,67	0,05	2,84	0,19	1,10	0,20	0,16	4,73	99,07
AC-EG-62	39,70	12,20	11,30	10,80	8,51	2,83	3,01	0,04	2,97	0,18	1,15	0,22	0,17	5,60	98,68
AC-DQ-12	47,00	15,05	8,08	7,54	6,77	6,12	2,08	0,03	1,75	0,18	0,46	0,15	0,12	3,93	99,26

Amostra	Ba	Ce	Cr	Cs	Dy	Er	Eu	Ga	Gd	Hf	Ho	La	Lu	Nb	Nd
AC-EG-02	123	22	190	0,3	4,87	3,17	1,1	17,5	3,91	2	0,98	11,3	0,4	14	11,6
AC-EG-12A	80,6	21,2	220	0,46	6,54	4,25	1,5	20,2	6,31	3,6	1,48	10	0,59	6	15,3
AC-EG-14B	114,5	21,9	200	0,37	6,8	4,42	1,55	20,3	6,1	3,7	1,48	10,4	0,6	6,8	16,3
AC-EG-21	161,5	29,4	80	0,27	5,12	2,9	1,55	20	5,31	3,4	1,01	13,4	0,37	9,7	18,4
AC-EG-26	94,7	21,5	100	0,22	5,34	3,23	1,2	18,8	4,73	2,5	1,04	9,8	0,43	10,2	13
AC-EG-49	108,5	20,3	160	0,26	4,53	2,98	0,91	16,2	3,74	2	0,92	10,3	0,44	10	10,9
AC-EG-52	116	19,1	150	0,1	4,19	2,72	0,88	15,6	3,46	1,7	0,86	9,8	0,34	9,2	10,6
AC-EG-55	187	36,2	120	0,09	6,15	3,32	1,78	20,7	6,18	3,8	1,11	16,6	0,41	12,3	21,1
AC-EG-56	149	29,3	100	0,08	5,09	3,04	1,47	20,1	5,18	3,3	1	13,1	0,37	9,6	17,6
AC-EG-58A	389	28,9	100	0,1	6,82	3,98	1,73	20,1	6,28	3,2	1,26	13	0,44	11,9	17,6

(continua)

(continuação)

Amostra	Ba	Ce	Cr	Cs	Dy	Er	Eu	Ga	Gd	Hf	Ho	La	Lu	Nb	Nd
AC-EG-60	155	23,2	190	0,3	4,94	3,19	1,04	18,3	3,94	2,2	0,98	11,7	0,43	14,3	11,8
AC-DQ-20	176,5	36,3	80	0,41	6,24	3,66	1,66	21,2	6,44	4,2	1,16	16,3	0,44	11,9	21,5
AC-EG-01	1335	209	390	1,69	5,49	2,66	2,86	22,1	7,41	7,8	0,95	126,5	0,27	139,5	68,6
AC-EG-05B	1330	277	30	3,13	7,15	2,93	4,28	23,8	11	8,4	1,18	149	0,3	150,5	103
AC-EG-61	1460	155,5	390	1,81	5,45	2,42	3,2	18,4	8,19	5,7	0,91	75,4	0,29	95,7	67,6
AC-EG-62	1525	168	310	1,37	5,55	2,45	3,32	19,2	8,07	5,9	0,89	79,9	0,29	102	72,7
AC-DQ-12	1065	216	270	3,39	5,15	2,67	2,49	24,8	6,18	11,3	0,86	144	0,38	165	61,9

Amostra	Pr	Rb	Sm	Sn	Sr	Ta	Tb	Th	Tm	U	V	W	Y	Yb	Zr
AC-EG-02	2,58	10,9	3	<1	162,5	1	0,67	1,18	0,42	0,27	436	96	25,9	2,73	76
AC-EG-12A	3,26	16,5	5,06	1	165,5	0,5	1,03	1,39	0,59	0,28	511	75	37,7	3,9	138
AC-EG-14B	3,31	16,3	4,73	1	165	0,4	1,06	1,33	0,59	0,22	507	81	37	3,91	137
AC-EG-21	3,82	17	4,41	1	254	0,6	0,82	1,1	0,35	0,27	384	54	26,2	2,7	127
AC-EG-26	2,59	10,4	3,37	<1	173	0,6	0,75	1	0,47	0,27	489	45	28,1	2,93	83
AC-EG-49	2,35	13,3	2,58	<1	145,5	0,6	0,64	1,05	0,4	0,25	378	61	25,5	2,74	67
AC-EG-52	2,15	7,8	2,78	<1	164	0,5	0,63	0,99	0,4	0,2	418	83	24	2,53	60
AC-EG-55	4,56	13,2	5,09	1	258	0,8	0,89	1,66	0,45	0,37	382	50	29,5	2,86	143
AC-EG-56	3,8	10,3	4,23	1	260	0,6	0,79	1,19	0,37	0,24	391	69	26	2,75	126
AC-EG-58A	3,63	31,3	4,99	1	204	0,8	0,99	1,24	0,52	0,24	613	79	32,9	3,43	119
AC-EG-60	2,69	16,2	2,99	<1	175	0,9	0,65	1,17	0,45	0,3	438	16	26,3	2,69	77
AC-DQ-20	4,58	15,1	4,98	1	238	0,8	0,89	1,32	0,51	0,42	445	63	32,1	3,01	172
AC-EG-01A	19,95	60,9	9,83	1	1735	6,1	0,96	19,35	0,32	4,84	206	54	25,9	2,29	434
AC-EG-05B	28,8	74,8	15,6	2	1680	8,4	1,36	14,2	0,39	3,27	405	41	30,8	2,25	385
AC-EG-61	17,3	68,7	10,35	1	1670	4,8	0,96	7,06	0,28	1,9	284	37	23	2	255
AC-EG-62	18,45	75,3	11,05	2	1835	5,2	0,99	7,26	0,32	1,91	297	20	24,5	2,02	271
AC-DQ-12	18,75	75,9	8,93	1	1275	6,4	0,84	36,4	0,36	9,58	186	119	26,1	2,71	672

**ANEXO V**  
**Dados Litogeoquímicos Compilados**

Conjunto de dados 2 (Bennio *et al.*, 2003)

Amostra	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P.F.	Total
F26	51,06	13,88	5,83	5,79	12,91	6,80	2,09	0,38	0,92	0,20	0,15	0,92	100,93
F16	50,71	13,84	4,62	7,07	12,87	7,02	2,15	0,25	1,14	0,18	0,15	1,14	101,14
F28	51,30	14,19	4,84	6,36	12,71	7,04	2,09	0,22	0,89	0,18	0,17	0,35	100,34
F70	50,21	15,14	4,58	6,26	13,57	6,68	1,70	0,38	1,10	0,18	0,20	1,30	101,30
F38	50,92	13,98	1,74	9,70	12,45	7,15	2,26	0,47	0,97	0,21	0,16	0,45	100,46
F7	50,96	13,58	4,94	8,05	12,49	6,13	1,87	0,47	1,15	0,20	0,15	2,20	102,19
F18	50,59	13,66	5,43	6,24	12,30	6,91	2,63	0,52	1,39	0,17	0,17	0,26	100,27
F42	50,76	13,42	4,35	8,47	11,88	6,47	2,49	0,47	1,28	0,21	0,21	0,31	100,32
F5	51,35	13,82	3,42	9,34	12,09	5,85	1,98	0,43	1,27	0,21	0,24	1,00	101,00
F33	50,43	13,77	4,13	9,01	12,10	6,39	2,14	0,32	1,28	0,20	0,22	1,66	101,65
F7	51,08	13,60	5,47	7,70	12,04	6,13	1,85	0,57	1,20	0,20	0,18	2,43	102,45
F19	50,37	13,67	5,58	6,81	12,14	6,65	2,49	0,41	1,49	0,18	0,19	0,24	100,22
F45	50,42	13,58	4,98	6,82	12,71	6,78	2,69	0,04	1,58	0,18	0,22	1,09	101,09
F49	51,64	13,59	4,89	7,85	11,58	6,22	2,15	0,28	1,32	0,25	0,23	0,88	100,88
F46	51,40	13,53	5,77	7,53	10,51	5,96	2,59	0,82	1,40	0,23	0,27	1,18	101,19
F2	50,55	12,71	4,98	9,03	11,77	6,03	2,34	0,27	1,90	0,22	0,21	1,02	101,03
F67	51,12	15,46	2,62	7,47	11,98	6,11	3,28	0,50	1,14	0,16	0,16	0,77	100,77
F69	52,25	15,69	2,03	8,40	11,31	5,66	2,36	0,69	1,25	0,17	0,18	0,74	100,73
F68	52,27	15,09	2,34	8,28	11,53	5,87	2,34	0,67	1,28	0,17	0,16	0,51	100,51
a	52,34	15,47	2,38	8,89	10,80	5,12	2,28	0,71	1,59	0,18	0,24	0,27	100,27
F54	52,10	15,03	2,21	9,30	10,79	5,17	2,62	0,73	1,62	0,18	0,25	0,43	100,43
F66	52,31	15,20	2,44	9,19	10,65	5,12	2,30	0,75	1,62	0,18	0,24	0,62	100,62
F50	52,33	14,69	2,24	9,56	10,92	5,45	2,08	0,66	1,63	0,18	0,24	0,26	100,24
F54	52,54	14,75	1,36	10,10	10,81	5,35	2,30	0,74	1,61	0,18	0,25	0,35	100,34
F53	52,46	14,98	2,21	9,52	10,69	4,86	2,41	0,74	1,70	0,18	0,23	0,22	100,20
F65	53,11	14,43	2,65	9,55	10,95	4,04	2,36	0,61	1,80	0,20	0,29	0,22	100,21
F32	52,67	14,47	3,10	8,79	10,29	5,45	2,17	0,95	1,69	0,18	0,24	1,31	101,31
F58	52,43	14,19	1,94	10,36	10,79	5,22	2,15	0,63	1,82	0,19	0,28	0,09	100,09
F56	52,54	14,18	2,79	9,48	10,72	5,27	2,14	0,69	1,73	0,19	0,26	0,86	100,85
F31	52,53	14,03	2,98	9,55	10,26	5,19	2,45	0,73	1,82	0,19	0,27	0,62	100,62
F39	52,65	13,85	3,67	8,80	10,27	5,01	2,69	0,76	1,81	0,19	0,30	0,38	100,38
F30	52,63	13,76	14,83	0,00	9,70	4,90	2,42	1,03	1,76	0,19	0,24	0,68	102,14

Conjunto de dados 2 (Bennio et al., 2003)

Amostra	Ba	Ce	Cr	Eu	La	Lu	Ni	Nb	Rb	Sc	Sr	V	Y	Yb	Zn	Zr
F26	182		172				93	8,8	10	51	153	349	29		166	66
F16	93		208				110	9,4	8	48	173	371	23		126	67
F28	117		140				86	9,2	4	49	148	336	26		86	67
F70	122	17,73	146	0,98	8,55	0,29	102	5,9	12	43	189	313	23	1,89	73	72
F38	182		142				86	10,8	14	47	145	357	29		117	72
F7	144		110				83	11,2	15	50	154	406	29		90	75
F18	76		118				85	7,8	15	44	174	414	28		64	81
F42	160		102				84	8,6	41	49	180	413	27		101	82
F5	132		81				80	8,9	11	47	164	400	31		87	85
F33	157		88				84	9,0	7	46	196	413	30		91	85
F7	159		93				78	10,3	20	47	155	432	32		95	85
F19	104	19,43	73	1,22	8,78	0,4	82	6,8	14	44	180	440	26	2,68	70	88
F45	161		234				119	10,2	24	43	229	425	24		87	96
F49	133		61				75	14,2	8	49	201	396	32		92	101
F46	206		98				70	12,8	28	47	211	439	34		106	104
F2	112		112				85	10	13	44	194	533	33		101	114
F67	147		287				78	8,0	13	38	237	262	25		79	93
F69	183		238				71	8,4	16	35	235	268	26		89	101
F68	168		242				74	9,9	17	38	227	278	25		91	104
a	197		67				53	9,5	13	35	267	323	29		82	117
F54	204		69				55	7,7	17	38	254	322	27		103	124
F66	204		69				56	9,3	18	34	261	321	26		92	126
F50	193		78				57	10,8	15	43	251	325	32		101	126
F54	210		70				56	9,3	16	36	251	328	29		93	128
F53	185		64				54	9,7	15	39	258	325	27		103	129
F65	221		72				59	8,3	12	37	260	331	34		124	131
F32	220	31,74	125	1,52	14,38	0,41	59	11,9	20	42	264	338	29	2,7	102	135
F58	199	32,55	79	1,51	14,77		55	13,2	10	41	253	338	31	2,82	113	136
F56	194		76				54	15,4	13	36	257	315	32		121	137
F31	228		113				57	8,9	14	41	250	351	31		111	147
F39	212		103				53	12,4	18	40	236	352	34		117	150
F30	280		114				56	11,2	23	37	253	338	33		109	154

Conjunto de dados 3 (Dutra, 2006)												
Amostra	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P.F.	Total
CF-TD-14b	47,22	14,53	11,03	11,46	8,13	2,19	1,21	1,03	0,17	0,11	2,79	99,88
FC-TD-01a	46,95	14,12	12,17	13,15	8,06	1,99	0,08	1,13	0,17	0,13	1,34	99,28
CF-TD-15a	47,47	14,07	11,36	10,48	8,01	2,68	1,12	1,14	0,18	0,12	2,72	99,36
FC-WT-14	47,68	14,41	12,39	12,70	7,81	2,21	0,30	1,10	0,19	0,12	1,03	99,94
CF-TD-06a	48,32	13,84	12,24	12,59	7,80	2,10	0,21	0,92	0,19	0,12	0,99	99,33
FC-WT-62	47,50	14,47	12,33	13,02	7,77	1,97	0,34	1,24	0,19	0,14	1,15	100,11
FC-WT-48	47,61	15,04	12,35	13,09	7,68	2,04	0,31	1,23	0,18	0,14	0,58	100,25
CF-TD-16	47,58	13,95	11,73	12,51	7,63	2,19	0,14	1,13	0,19	0,13	1,81	98,99
CF-TD-07a	47,77	14,61	11,83	10,80	7,56	2,53	1,16	1,52	0,18	0,16	1,48	99,59
CF-TD-13b	47,81	14,27	11,74	12,83	7,53	2,07	0,13	1,12	0,18	0,12	2,03	99,85
CF-TD-02b	47,37	13,95	13,40	12,67	7,51	2,12	0,25	1,23	0,21	0,15	1,10	99,99
FC-WT-04 DQ 2	46,94	15,30	11,07	13,29	7,50	1,96	0,37	1,16	0,17	0,12	0,84	98,72
CF-TD-07b	49,32	14,72	10,12	12,08	7,47	2,63	0,50	1,65	0,20	0,13	0,97	99,78
CF-TD-01	47,33	14,92	11,98	13,36	7,23	2,05	0,28	1,25	0,18	0,13	0,91	99,63
FC-WT-36	47,76	13,53	14,67	11,95	7,03	2,29	0,35	1,57	0,21	0,17	0,81	100,34
FC-WT-28	47,91	14,58	13,55	12,48	6,99	2,26	0,27	1,14	0,20	0,15	0,61	100,14
CF-TD-08a	49,35	14,93	10,74	10,86	6,88	2,65	0,73	1,16	0,15	0,17	2,06	99,68
FC-WT-31	47,72	14,45	13,47	12,39	6,88	2,25	0,21	1,14	0,20	0,15	1,18	100,04
CF-TD-08b	49,03	14,92	10,65	10,96	6,78	2,56	0,78	1,14	0,15	0,16	2,06	99,19
SQ-TD-01c	54,80	14,98	7,38	10,87	6,76	2,42	0,88	1,10	0,18	0,11	0,40	99,88
FC-WT-06	47,52	13,52	14,20	11,41	6,57	2,50	0,54	1,49	0,21	0,19	2,02	100,17
CF-TD-05	47,96	13,08	15,18	10,97	6,52	2,54	0,46	1,40	0,21	0,18	0,77	99,29
CF-TD-03b	47,85	13,06	14,36	11,11	6,41	2,55	0,52	1,49	0,22	0,19	1,78	99,54
FC-WT-09	53,06	14,39	8,80	10,50	6,28	2,51	0,71	1,63	0,16	0,16	0,54	98,74
CF-TD-03a	47,50	12,95	15,04	10,39	5,91	2,95	0,35	1,62	0,24	0,22	1,97	99,13
CF-TD-09	50,79	15,68	10,82	10,44	5,76	2,27	1,05	1,22	0,17	0,16	0,91	99,29
SQ-TD-02	54,05	13,42	12,90	8,53	4,44	2,65	1,36	1,46	0,19	0,20	0,78	99,98

Conjunto de dados 3 (Dutra, 2006)													
Amostra	Ba	Ce	Cr	Dy	Er	Eu	Gd	Hf	Ho	La	Lu	Nb	Nd
CF-TD-14b	213	18,9	280	4,3	2,6	1,09	3,8	2,1	0,9	8,9	0,36	7	10,4
FC-TD-01a	62	15,2	100	4,1	2,4	1,12	3,8	1,8	0,8	7,0	0,32	6	9,8
CF-TD-15a	273	20,2	230	4,6	2,8	1,18	4,1	2,1	0,9	9,4	0,39	7	11,2
FC-WT-14	94	18,0	268	4,3	2,5	1,13	3,4	1,8	0,9	8,9	0,34	8	9,8
CF-TD-06a	150	19,5	150	4,7	3,0	1,11	4,3	1,6	1,0	16,4	0,43	9	13,4
FC-WT-62	81	16,5	125	4,4	2,5	1,26	3,9	2,3	0,9	7,8	0,33	8	10,8
FC-WT-48	78	15,9	104	4,2	2,4	1,21	3,7	2,2	0,9	7,5	0,31	7	10,3
CF-TD-16	89	20,5	220	4,5	2,8	1,19	4,1	2,2	0,9	9,7	0,38	7	11,2
CF-TD-07a	717	20,0	280	4,5	2,6	1,39	4,6	2,5	0,9	9,0	0,35	10	12,9
CF-TD-13b	95	20,7	240	4,5	2,7	1,17	4,0	2,2	0,9	9,8	0,38	7	11,0
CF-TD-02b	96	19,7	110	4,9	3,1	1,25	4,4	2,1	1,0	9,3	0,43	9	11,3
FC-WT-04 DQ 2	88	15,0	139	3,9	2,2	1,12	3,5	2	0,8	7,0	0,29	6	9,7
CF-TD-07b	337	21,3	230	4,7	2,7	1,44	4,7	2,6	0,9	9,7	0,35	10	13,6
CF-TD-01	85	18,1	110	4,2	2,5	1,20	4,0	2,1	0,8	8,4	0,33	8	11,0
FC-WT-36	96	19,5	80	5,6	3,3	1,53	4,9	2,8	1,2	9,1	0,44	9	12,8
FC-WT-28	110	19,9	69	4,5	2,9	1,18	3,8	2,1	1,0	9,9	0,38	9	11,0
CF-TD-08a	376	39,2	190	4,4	2,5	1,37	4,5	3	0,9	19,7	0,33	8	18,0
FC-WT-31	112	20,0	67	4,6	3,0	1,22	3,8	2,1	1,0	9,9	0,40	9	11,3
CF-TD-08b	343	37,1	190	4,3	2,5	1,37	4,4	2,9	0,9	18,7	0,33	8	17,5
SQ-TD-01c	231	30,0	70	3,8	2,2	1,12	4,0	2,5	0,8	14,3	0,30	7	14,9
FC-WT-06	161	27,8	96	5,2	3,2	1,51	4,6	2,8	1,2	13,8	0,44	15	15,5
CF-TD-05	166	26,9	50	6,0	3,7	1,45	5,2	2,6	1,2	13,6	0,54	15	13,9
CF-TD-03b	144	26,4	60	6,0	3,9	1,46	5,2	2,9	1,3	12,8	0,55	13	14,3
FC-WT-09	187	33,1	100	6,0	3,4	1,72	5,5	3,3	1,2	15,6	0,41	10	17,9
CF-TD-03a	112	29,2	30	6,6	4,2	1,63	5,8	3,3	1,4	14,2	0,61	14	16,3
CF-TD-09	422	34,7	80	5,1	3,0	1,33	4,8	3,1	1,0	16,5	0,41	7	17,8
SQ-TD-02	296	44,6		5,8	3,3	1,58	6,0	4	1,2	21,3	0,45	10	22,3

Conjunto de dados 3 (Dutra, 2006)												
Amostra	Pr	Rb	Sm	Sr	Tb	Th	Tm	U	V	Y	Yb	Zr
CF-TD-14b	2,48	67	3,0	260	0,7	1	0,38	0,2	317	23	2,4	64
FC-TD-01a	2,09	6	3,0	166	0,7	0,7	0,34	0,2	343	23	2,1	59
CF-TD-15a	2,67	59	3,2	234	0,8	1,1	0,42	0,2	353	26	2,6	68
FC-WT-14	2,39	6	3,0	164	0,7	0,9	0,38	0,2	355	25	2,3	55
CF-TD-06a	3,49	8	3,4	146	0,7	1,1	0,45	0,2	335	28	2,8	50
FC-WT-62	2,16	8	3,2	201	0,7	0,8	0,38	0,2	357	23	2,2	72
FC-WT-48	2,13	8	3,0	204	0,7	0,8	0,34	0,2	344	22	2,2	70
CF-TD-16	2,68	4	3,2	161	0,7	1,1	0,41	0,2	348	26	2,6	68
CF-TD-07a	2,85	37	3,8	343	0,8	0,9	0,38	0,2	396	25	2,3	78
CF-TD-13b	2,67	6	3,1	166	0,7	1,1	0,40	0,2	347	25	2,6	70
CF-TD-02b	2,63	9	3,3	163	0,8	0,9	0,45	0,2	397	28	2,9	66
FC-WT-04 DQ 2	2,00	11	2,8	200	0,6	0,7	0,33	0,2	321	20	2,0	63
CF-TD-07b	3,03	15	4,0	256	0,8	0,9	0,39	0,2	420	28	2,4	86
CF-TD-01	2,51	10	3,2	186	0,7	0,8	0,36	0,2	352	23	2,3	62
FC-WT-36	2,62	8	3,7	184	0,9	1	0,50	0,2	453	30	3,0	91
FC-WT-28	2,43	5	3,0	192	0,7	1,1	0,43	0,3	373	25	2,6	66
CF-TD-08a	4,72	20	4,1	268	0,7	2,3	0,36	0,2	314	26	2,3	102
FC-WT-31	2,48	5	3,0	189	0,7	1,1	0,44	0,3	368	25	2,7	69
CF-TD-08b	4,58	20	4,1	287	0,7	2,1	0,35	0,2	312	24	2,2	94
SQ-TD-01c	3,82	25	3,7	228	0,7	3	0,32	0,8	282	24	2,0	96
FC-WT-06	3,42	13	3,9	206	0,9	1,7	0,49	0,4	428	30	2,9	100
CF-TD-05	3,40	14	4,0	185	1,0	1,5	0,57	0,3	472	34	3,6	85
CF-TD-03b	3,45	16	4,0	207	1,0	1,3	0,57	0,3	461	35	3,7	94
FC-WT-09	4,42	15	5,1	246	1,0	1,5	0,47	0,4	304	35	2,6	122
CF-TD-03a	3,84	7	4,5	187	1,1	1,5	0,64	0,3	487	39	4,1	105
CF-TD-09	4,44	30	4,3	248	0,8	2,8	0,44	0,4	292	29	2,8	104
SQ-TD-02	5,67	46	5,5	198	1,0	5	0,49	1,3	379	33	3,1	133

**ANEXO VI**  
**Norma CIPW**

Conjunto de dados 1

Amostra	<i>Q</i>	<i>Z</i>	<i>Or</i>	<i>Ab</i>	<i>An</i>	<i>Lc</i>	<i>Ne</i>	<i>Di</i>	<i>Hy</i>	<i>Ol</i>	<i>Mt</i>	<i>Cm</i>	<i>Hm</i>	<i>Il</i>	<i>Tn</i>	<i>Ap</i>	Total
AC-EG-02	0	0,02	2,44	17,69	27,16	0	0	28,73	15,25	3,23	2,89	0,04	13,16	2,21	2,28	0,43	100,09
AC-EG-12A	0	0,03	2,51	22,43	26,41	0	0	24,45	12,37	5,13	3,03	0,05	13,76	3,27	3,66	0,42	100,09
AC-EG-14B	0	0,03	2,93	21,38	27,06	0	0	21,23	18,08	2,48	3,08	0,04	13,98	3,32	3,7	0,46	100,09
AC-EG-21	2,15	0,03	4,53	20,78	24,81	0	0	23,99	16,98	0	2,93	0,02	13,33	3,39	3,8	0,47	100,09
AC-EG-26	0	0,02	2,44	19,48	25,49	0	0	27,74	14,7	4,17	3,12	0,02	14,15	2,48	2,58	0,41	100,07
AC-EG-49	0	0,01	2,94	16,98	27,64	0	0	28,43	18,25	0,94	2,72	0,04	12,38	1,77	1,75	0,34	100,07
AC-EG-52	0	0,01	1,87	18,14	27,75	0	0	28,56	15,7	3,1	2,76	0,03	12,57	1,82	1,8	0,31	100,07
AC-EG-55	4,46	0,03	4,09	20,36	25,83	0	0	21,4	17,28	0	2,84	0,03	12,91	3,28	3,69	0,51	100,1
AC-EG-56	2,72	0,03	3,43	20,24	25,62	0	0	24,68	16,96	0	2,79	0,02	12,69	3,17	3,52	0,43	100,09
AC-EG-58A	0	0,02	5,79	18,81	23,52	0	0	22,91	20,07	1,22	3,53	0,02	15,99	3,69	4,17	0,54	100,12
AC-EG-60	0	0,02	3,11	17,84	26,92	0	0	27,1	16,75	2,76	2,93	0,04	13,32	2,21	2,32	0,42	100,09
AC-DQ-20	2,44	0,04	3,51	22,09	24,15	0	0	23,17	17,12	0	3,13	0,02	14,23	3,85	4,34	0,57	100,1
AC-EG-01A	0	0,09	12,8	12,05	9,74	0	19,55	28,07	0	10,87	1,96	0,09	0	3,78	0	1,52	100,54
AC-EG-05B	0	0,08	0	0	13,16	12,85	17,72	33,73	0	8,54	3,12	0,01	0	6,4	0	3,02	100,52
AC-EG-61	0	0,06	8,59	0	11,17	6,6	15,19	29,28	0	18,25	2,7	0,09	0	5,8	0	2,83	100,56
AC-EG-62	0	0,06	7,27	0	12,8	9,54	14,15	31,23	0	13,63	2,68	0,07	0	6,15	0	3	100,59
AC-DQ-12	0	0,14	13,06	18,85	7,92	0	19,52	23,73	0	10,62	1,86	0,06	0	3,52	0	1,17	100,46

Conjunto de dados 2 (Bennio *et al.*, 2003)

Amostra	<i>Q</i>	<i>Z</i>	<i>Or</i>	<i>Ab</i>	<i>An</i>	<i>Di</i>	<i>Hy</i>	<i>Ol</i>	<i>Mt</i>	<i>Cm</i>	<i>Hm</i>	<i>Il</i>	<i>Tn</i>	<i>Ap</i>	Total
F26	5,63	0,01	2,25	17,68	27,38	28,57	7,98	0	8,45	0,04	0	1,75	0	0,36	100,1
F16	3,8	0,01	1,48	18,19	27,38	28,7	11,26	0	6,7	0,04	0	2,16	0	0,36	100,09
F28	5,23	0,01	1,3	17,68	28,7	26,79	11,22	0	7,02	0,03	0	1,69	0	0,4	100,07
F70	4,75	0,01	2,25	14,38	32,57	26,96	9,92	0	6,64	0,03	0	2,09	0	0,47	100,09
F38	0	0,01	2,78	19,12	26,62	28,15	17,31	1,32	2,52	0,03	0	1,84	0	0,38	100,1
F7	5,88	0,02	2,78	15,82	27,28	27,52	11,05	0	7,16	0,02	0	2,18	0	0,36	100,07
F18	2,59	0,02	3,08	22,25	23,94	28,81	8,46	0	7,87	0,03	0	2,64	0	0,4	100,09
F42	2,51	0,02	2,79	21,07	24,06	27,41	12,98	0	6,31	0,02	0	2,43	0	0,5	100,1
F5	5,12	0,02	2,55	16,75	27,56	25,49	14,64	0	4,96	0,02	0	2,41	0	0,57	100,08
F33	3,52	0,02	1,89	18,11	27,03	25,93	14,62	0	5,99	0,02	0	2,43	0	0,52	100,08
F7	6,82	0,02	3,38	15,65	27,13	25,56	10,89	0	7,93	0,02	0	2,28	0	0,43	100,1
F19	3,63	0,02	2,43	21,07	24,92	27,41	9,2	0	8,09	0,02	0	2,83	0	0,45	100,06
F45	3,01	0,02	0,25	22,76	24,87	29,61	8,81	0	7,22	0,05	0	3	0	0,52	100,12
F49	6,98	0,02	1,66	18,19	26,62	23,92	12,54	0	7,09	0,01	0	2,51	0	0,55	100,08
F46	5,19	0,02	4,86	21,91	22,88	22,35	11,21	0	8,37	0,02	0	2,66	0	0,64	100,11
F2	5,09	0,02	1,6	19,8	23,39	27,53	11,33	0	7,22	0,02	0	3,61	0	0,5	100,1
F67	0	0,02	2,96	27,75	26	26,54	5,69	4,75	3,8	0,06	0	2,16	0	0,38	100,12
F69	3,57	0,02	4,08	19,97	30,2	20,47	16	0	2,94	0,05	0	2,37	0	0,43	100,11
F68	3,77	0,02	3,97	19,8	28,71	22,64	14,96	0	3,39	0,05	0	2,43	0	0,38	100,11
a	5,51	0,02	4,2	19,29	29,9	18,39	15,73	0	3,45	0,01	0	3,02	0	0,57	100,1
F54	3,38	0,02	4,32	22,17	27,11	20,64	15,57	0	3,2	0,01	0	3,08	0	0,59	100,1
F66	5,36	0,03	4,44	19,46	28,95	18,58	16,08	0	3,54	0,01	0	3,08	0	0,57	100,1
F50	5,88	0,03	3,91	17,6	28,82	19,8	17,13	0	3,25	0,02	0	3,1	0	0,57	100,1
F54	4,22	0,03	4,38	19,46	27,75	20,27	18,35	0	1,97	0,02	0	3,06	0	0,59	100,09
F53	5,17	0,03	4,38	20,39	27,89	19,74	15,49	0	3,2	0,01	0	3,23	0	0,55	100,08
F65	8,03	0,03	3,61	19,97	27	21,35	12,16	0	3,84	0,02	0	3,42	0	0,69	100,1
F32	6,68	0,03	5,62	18,36	26,95	18,65	15,52	0	4,49	0,03	0	3,21	0	0,57	100,11
F58	5,92	0,03	3,73	18,19	27,22	20,47	17,59	0	2,81	0,02	0	3,46	0	0,66	100,1
F56	6,86	0,03	4,08	18,11	27,06	20,3	15,69	0	4,04	0,02	0	3,29	0	0,62	100,09
F31	6,01	0,03	4,32	20,73	25,15	19,96	15,48	0	4,32	0,02	0	3,46	0	0,64	100,11
F39	6,16	0,03	4,5	22,76	23,49	21,1	12,58	0	5,32	0,02	0	3,44	0	0,71	100,11
F30	11,93	0,03	6,01	20,18	23,32	13,57	5,74	0	0	0,02	14,62	0,4	3,7	0,56	100,12

Conjunto de dados 3 (Dutra, 2006)														
Amostras	<i>Q</i>	<i>Z</i>	<i>Or</i>	<i>Ab</i>	<i>An</i>	<i>Ne</i>	<i>Di</i>	<i>Hy</i>	<i>Ol</i>	<i>Mt</i>	<i>Cm</i>	<i>Il</i>	<i>Ap</i>	Total
CF-TD-14b	0	0,01	7,47	18,86	27,3	0,22	25,47	0	15,92	2,49	0,06	2,03	0,27	100,12
FC-TD-01a	0	0,01	0,49	17,37	30,3	0	29,62	6,92	10,05	2,73	0,02	2,21	0,32	100,06
CF-TD-15a	0	0,01	6,94	22,64	24,11	0,58	24,15	0	16,49	2,58	0,05	2,26	0,3	100,12
FC-WT-14	0	0,01	1,81	19,11	29,15	0	28,29	5,01	11,47	2,75	0,06	2,13	0,29	100,09
CF-TD-06a	0	0,01	1,28	18,26	28,5	0	28,68	12,18	6,31	2,74	0,03	1,8	0,29	100,07
FC-WT-62	0	0,01	2,06	17,02	30,28	0	28,54	7,13	9,52	2,74	0,03	2,4	0,34	100,07
FC-WT-48	0	0,01	1,86	17,5	31,41	0	27,54	5,66	10,63	2,72	0,02	2,37	0,34	100,07
CF-TD-16	0	0,01	0,86	19,27	28,94	0	28,47	10,35	6,92	2,65	0,05	2,23	0,32	100,08
CF-TD-07a	0	0,02	7,07	22,04	25,86	0	23,36	0,8	14,97	2,65	0,06	2,97	0,39	100,19
CF-TD-13b	0	0,01	0,8	18,09	30,24	0	28,48	11,63	5,65	2,64	0,05	2,2	0,29	100,08
CF-TD-02b	0	0,01	1,52	18,36	28,47	0	28,74	7,19	10,03	2,98	0,02	2,39	0,36	100,07
FC-WT-04 DQ 2	0	0,01	2,26	17,11	32,87	0	28,13	4,17	10,44	2,48	0,03	2,27	0,29	100,07
CF-TD-07b	0	0,02	3,02	22,72	27,46	0	26,86	7,58	6,65	2,25	0,05	3,2	0,31	100,12
CF-TD-01	0	0,01	1,7	17,75	31,42	0	29,23	4,98	9,53	2,67	0,02	2,43	0,32	100,07
FC-WT-36	0	0,02	2,11	19,71	26,06	0	27,44	9,39	8,62	3,25	0,02	3,03	0,41	100,07
FC-WT-28	0	0,01	1,62	19,44	29,33	0	26,99	7,77	9,33	3	0,02	2,2	0,36	100,06
CF-TD-08a	0	0,02	4,47	23,19	27,62	0	22,22	12,35	5,12	2,42	0,04	2,28	0,42	100,13
FC-WT-31	0	0,01	1,27	19,48	29,39	0	26,91	9,22	8,17	3	0,01	2,22	0,36	100,06
CF-TD-08b	0	0,02	4,8	22,51	27,99	0	22,62	12,03	5,07	2,41	0,04	2,25	0,39	100,13
SQ-TD-01c	6,28	0,02	5,27	20,71	27,75	0	21,21	14,83	0	1,62	0,02	2,11	0,26	100,09
FC-WT-06	0	0,02	3,3	21,82	24,85	0	26,79	6,92	9,8	3,19	0,02	2,92	0,46	100,08
CF-TD-05	0	0,02	2,8	22,11	23,6	0	25,96	11,03	7,97	3,4	0,01	2,74	0,44	100,07
CF-TD-03b	0	0,02	3,19	22,35	23,48	0	26,88	10,19	7,32	3,23	0,01	2,93	0,47	100,08
FC-WT-09	5,84	0,03	4,31	21,79	26,59	0	21,08	14,9	0	1,96	0,02	3,18	0,39	100,09
CF-TD-03a	0	0,02	2,16	26,03	21,97	0	25,27	8,7	8,75	3,41	0,01	3,21	0,54	100,07
CF-TD-09	2,12	0,02	6,38	19,71	30,29	0	18,11	18,28	0	2,41	0,02	2,38	0,39	100,12
SQ-TD-02	6,98	0,03	8,21	22,86	21,12	0	17,41	17,32	0	2,86	0	2,83	0,48	100,09

**ANEXO VII**  
**Métodos Analíticos**

Regressão é um método utilizado no ajuste de curvas em relação à um dado conjunto de pontos em um plano cartesiano. O método de regressão empregado neste trabalho é o de mínimos quadrados, utilizado pelo *software* Microsoft Excel como padrão. Faz-se a soma de quadrados das distâncias entre os pontos no diagrama, obtendo-se uma relação entre x e y.

O *software* fornece, além da curva, o valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para cada equação de reta calculada. O coeficiente de determinação assume valores de 0 até 1,0, de forma que quanto mais próximo da unidade maior é a correlação e melhor os dados se ajustam à curva.

O nível de confiança, por sua vez, representa a porcentagem de intervalos que incluiriam os determinados conjuntos de dados se você reunisse amostras da mesma população, repetidas vezes. A tabela VII-1 é utilizada para relacionar o nível de confiança em porcentagem, com o número de amostras  $n$  e o valor de  $R^2$  obtido para a reta.

Tabela VII-1. Valores mínimos do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para níveis de confiança 80, 90, 95 e 99% para um dado  $n$  número de amostras.

n	Nível de confiança (NC)			
	80%	90%	95%	99%
5	0,6870	0,8054	0,9793	0,9587
10	0,4428	0,5494	0,6319	0,7646
20	0,2992	0,3783	0,4438	0,5614
30	0,2407	0,3061	0,3610	0,4629
40	0,2070	0,2638	0,3120	0,4026
50	0,1843	0,2353	0,2787	0,3610
60	0,1678	0,2144	0,2564	0,3301
70	0,1550	0,1982	0,2352	0,3060
71	0,1539	0,1968	0,2335	0,3038